

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI
ABU RAYHON BERUNIY NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT
TEXNIKA UNIVERSITETI**



**"ELEKTRON TEXNIKA MATERIALLARI
VA
MAHSULOTLARI TEXNOLOGIYASI"**

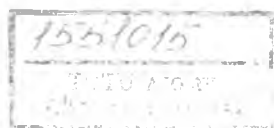
fanidan tajriba ishlari bo'yicha o'quv qo'llanma

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI
ABU RAYHON BERUNIY NOMIDAGI TOSHKENT DAVLAT
TEXNIKA UNIVERSITETI**

**“ELEKTRON TEXNIKA MATERIALLARI
VA
MAHSULOTLARI TEXNOLOGIYASI”**

fanidan tajriba ishlari bo'yicha o'quv qo'llanma

**(Bakalavriyatning 5521700 – “Elektronika va mikroelektronika”
yo'nalishi talabalari uchun)**



Toshkent – 2008

"Elektron texnika materiallari va mahsulotlari texnologiyasi" fanidan tajriba ishlari bo'yicha o'quv qo'llanma. Parmanqulov I.P., Tadjiyev A.A.- Toshkent, ToshDTU, 2008. – 80 b.

O'quv qo'llanma bakalavriatning 5521700-"Elektronika va mikroelektronika" yo'nalishi talabalari uchun mo'ljallangan. Qo'llanmada "Elektron texnika materiallari va mahsulotlari texnologiyasi" fanining asosiy bo'limlariga tegishli 13 ta tajriba ishlarining nazariy qismlari va tavsiflari bayon qilingan. Oliy o'quv yurtlari tomonidan xalq xo'jaligining yetakchi tarmoqlari uchun yuqori malakali, chuqur bilimga ega bo'lgan kadrlar tayyorlashda tajriba ishlarining ahamiyati nihoyatda kattadir. Tajriba ishlarining fizik mohiyatini talabalar to'liq tushunib olishlari uchun qo'llanmada nazariy qismga keng o'rin berilgan.

Har bir tajriba ishi tavsifnomasida qisqa va aniq nazariy ma'lumot, ishning maqsadi va bajarish tartibi bayon qilingan. Bundan tashqari talabalar o'z bilimlarini tekshirib ko'rishlari uchun sinov savollari keltirilgan.

Abu Rayhon Beruniy nomidagi Toshkent davlat texnika universiteti ilmiy-metodik kengashi qaroriga asosan chop etildi

Taqrizchilar: N. Norqulov - O'zMU "Fizikaviy elektronika" kafedrasini mudiri, fizika-matematika fanlari nomzodi.

A.S. Risbayev ToshDTU "Umumiy fizika" kafedrasini professori, fizika - matematika fanlari doktori.

Босишга рухсат этилди 17.11.2008 йил; Қоғоз формати 60x84/16;
Офсет босма усулида босилди. Нашр босма тобоғи 5,0.

Адади 100 нусха. Буюртма № 1250.

“Тараккиёт ИИЧ” Х/Ф матбаа бўлимида чоп қилинди.

Манзил: Тошкент шаҳри, Форобий кўчаси 26 “А” уй.

© Toshkent davlat texnika universiteti, 2008

KIRISH

O'zbekiston oliy o'quv yurtlari oldida chuqur nazariy bilimga, amaliyot va loyihalashtirish sohalarida yuqori malakaga ega bo'lgan va kelgusida xalq xo'jaligi sohalarida amaliy ish olib bora oladigan keng profilli mutaxassislar tayyorlashdan iborat vazifa turibdi.

"Elektron texnika materiallari va mahsulotlari texnologiyasi" kursini o'rganishdan maqsad shu predmetning asoslarini o'zlashtirish va amaliy jihatdan egallashdir.

Nazariy bilimlarni puxta, mukammal egallash uchun faqatgina "Umumiy fizika" va "Umumiy kimyo" kurslarini bilish yetarli bo'lmay, balki "Termodinamika", "Kimyoviy kinetika", "Materialshunoslik", "Mikroelektronikaning fizik - kimyoviy asoslari" predmetlari sohasida tasavvurga ham ega bo'lishi kerak hamda qattiq jism fizikasi, yupqa qatlam va sirtlar, vakuum texnikasi, optik usullar, mikroelektronika va yarim o'tkazgichlar, elektronika asboblari bilan tadqiqot qilish to'g'risidagi bilimlarni egallash zarur. Bu asosiy kurs materialning sezilarli darajadagi qismi kelajakda boshqa kurslar, jumladan, "Elektron texnika asboblari va qurilmalarini ishlab chiqarish texnologiyasi" kursi uchun baza bo'lib xizmat qiladi.

Talabalar bu kursni egallash jarayonida "Elektron texnika materiallari fizikasi va texnologiyasi" kafedrasida hamda Elektronika ilmiy tekshirish institutining laboratoriyalarida tajriba ishlarini mustaqil bajarish bilan maxsus amaliy tayyorgarlikdan o'tadilar. Tajriba ishlarining soni optimal bo'lib, ular kursning asosiy bo'limlarini o'z ichiga qamrab olgan. Ular talabalarning nazariy bilimlarini mustahkamlashga, elektron texnika materiallarini tadqiq va tatbiq qiluvchi mutaxassisning malakasini oshirishga, materiallarda bo'ladigan jarayonlarni tushuntirishga imkon beradi hamda shu materiallarning parametrlaridan tadqiqot uchun foydalanish, asosiy formulalar, ta'riflar va elektron texnika materiallarining muhim parametrlari kattaliklarini va qiymatlarini esda saqlab qolishga yordam beradi.

Tajriba ishlarining anchagina qismi elektron texnika sohasida keng qo'llanilayotgan zamonaviy materiallarni olish jarayonlari va ularning xususiyatlarini o'rganishga bag'ishlangan. Talabalarning bu tajriba ishlaridan oladigan mukammal bilim va ko'nikmalari ularning kelgusidagi mustaqil tayyorgarliklari uchun muhim ahamiyatga egadir.

KREMNIY EPITAKSIAL QATLAMLARINING HOSIL BO'LISH JARAYONINI TEKSHIRISH

Ishdan maqsad: Kremniy kristallarining yupqa qatlamini epitaksial o'stirish usullaridan biri bo'lgan kimyoviy gaz transport usuli va qurilmasi bilan tanishish hamda epitaksial qatlam sifatini tekshirish.

Nazariy qism

Epitaksiya usuli 60-yillarning boshida ishlab chiqildi va mukammal asboblardan hamda qurilmalar yaratishda paydo bo'lgan ko'pgina qiyinchiliklarni yengib o'tish imkoniyatini yaratdi. Bu usul bilan yupqa qatlamlar va strukturalar hosil qilinadi.

Epitaksiyaning turlari va usullari. "Epitaksiya" atamasi kristall sirtida oriyentirlangan holatdagi kristall o'stirish jarayonini bildiradi. Epitaksiyali qatlam kristall taglikka o'tqazilgan monokristall material bo'lib, taglikning strukturasini (morfologiyasini) saqlab qoladi.

O'sayotgan qatlamning hosil bo'lish jarayonida kechadigan fizik-kimyoviy hodisalarning tabiatiga qarab epitaksiyaning 3 ta texnologik usuli mavjud:

1. Vakuumda molekulyar oqimlar yordamida o'stiriladigan molekulyar nurli epitaksiya (MNE).

2. Gaz yoki bug'-gaz aralashmali moddalarning kimyoviy ta'siri yordamida olinadigan bug'-gaz fazali epitaksiya (BGF epitaksiya).

3. Suyuq fazadagi yoki qorishma-eritmalaridan rekristalizatsiya yo'li bilan olinadigan suyuq fazali epitaksiya.

Epitaksiya jarayonining ko'pchiligini bug'-gazli fazadan o'tqazish tashkil qiladi va elektron asboblardan hamda qurilmalar ishlab chiqarish texnologiyasida asosan mana shu usuldan foydalaniladi.

Hozirda molekulyar-nurli epitaksiya (MNE) deb ataladigan vakuumli epitaksiyaning termovakuumli changlatishdan farqi shundaki, MNE jarayoni o'ta yuqori vakuum sharoitida o'tkaziladi. MNE va BGF epitaksiyalarning Choxralskiy usuli bilan monokristallar o'stirishdan farqi avvalo shundaki, kristallar erish haroratidan past haroratlarda o'sadi. Suyuq fazali epitaksiya eritma holatdagi metallarda eritilgan moddaning taglik sirtida kristallanishiga asoslangan. Bu usul asosan, ikkilangan va uchlangan yarimo'tkazgichli birikmalarning qatlamlarini hosil qilishda qo'llaniladi.

Qatlam va tagliklarning tarkibiga bog'liq holda epitaksiya jarayonining 3 ta turi ma'lum:

1. Avtoepitaksiya – taglikda uning strukturasi bilan bir xil bo'lgan moddaning o'stirilishi bo'lib, ular bir-biridan kirishmalarning konsentratsiyasi bilangina farq qiladi.

2. Geteroepitaksiya - taglik yuzasida uning kimyoviy tarkibidan boshqa bo'lgan moddaning o'stirilishi. Geteroepitaksial qatlamlar o'stirilishida qatlam-taglik chegarasida tarkib jihatdan nobirjinsli (geterogenli) o'tish hosil bo'ladi.

3. Xemoepitaksiya - taglik moddasidan farq qiladigan moddani oriyentirlangan o'stirish jarayoni bo'lib, hosil bo'layotgan yangi faza taglikning moddasi bilan tashqaridan kelayotgan moddaning kimyoviy ta'sirlanishi natijasida hosil bo'ladi. Buning natijasida hosil bo'lgan xemoepitaksial qatlam tarkibi jihatdan taglik moddasidan va o'tqazilayotgan moddadan farq qiladi.

Epitaksiya usuli kuchli legirlangan, yarimo'tkazgichli plastina-taglikda shu yarimo'tkazgichning kam kirishmali yupqa qatlamini hosil qilish imkoniyatini beradi. Bu qatlam diodlarda baza, tranzistorlarda kollektor va boshqa sohalar bo'lib xizmat qiladi.

IMS tayyorlashda quyidagi epitaksial strukturalar – epitaksial qatlamlar o'stirilgan tagliklardan foydalaniladi: bir qatlamli, ko'p qatlamli, yashirin qatlamli va geteroepitaksiyali. Epitaksiyali strukturalar quyidagicha belgilanadi: K – kremniy; Π , Θ – kovak (dirochnoy) va elektron turli o'tkazuvchanlik; legirlovchi elementlar: B – bor, C – surma, M – mishyak, Φ – fosfor.

Bir qatlamli epitaksial strukturalar o'tkazuvchanligi n -tur bo'lgan kremniyli monokristall plastinalarga p -turli qatlamni avtoepitaksiya qilish jarayonida tayyorlanadi. Bir qatlamli epitaksial strukturalar sonli koeffitsientli kasr ko'rinishida belgilanadi. Masalan,

$$\frac{76 \text{ } 8 \text{ } \text{КДБ} - 0,5}{400 \text{ } \text{КЭС} - 0,01}$$

Sonli koeffitsient epitaksiyali strukturaning diametrini ko'rsatadi (76 mm), suratdagi birinchi son epitaksiyali qatlam qalinligini belgilaydi (8 mkm), maxrajdagi – plastina qalinligini ko'rsatadi (400 mkm). Suratdagi va maxrajdagi ikkinchi son epitaksiyali qatlam (0,5 Om·sm) va taglikning (0,01 Om·sm) solishtirma qarshiligiga mos keladi.

Ko'p qatlamli epitaksiyali strukturalar p -turli kremniy plastinasining ikki tomoniga o'tkazuvchanlik turlari har xil bo'lgan qatlamlarni avtoepitaksiya qilish jarayonida tayyorlanadi. Ko'p

qatlamli epitaksiyalı strukturalarning belgilanishi bir qatlamli strukturalarning belgilanishiga o'xshash bo'lib, uch sathli bo'ladi.

Yashirin qatlamli epitaksiyalı strukturalar p-turli kremniy plastinalarida kichik qarshilikli n^+ -kremniylik lokal uchastkalarda fosfor bilan legirlangan n-turli o'tkazuvchanlikli qatlamni o'stirish yo'li bilan tayyorlanadi. Strukturaning belgilanishi yozilish tartibi bo'yicha quyidagicha: suratda – epitaksial qatlamning qalinligi (mkm); material; o'tkazuvchanlik turi va epitaksial qatlamni legirlovchi element; uning solishtirma qarshiligi ($\text{Om}\cdot\text{sm}$); qalinligi (mkm); yashirin qatlamning materiali; o'tkazuvchanlik turi va legirlovchi element; uning sirt qarshiligi ($\text{Om}/\square$); maxrajda – epitaksial qatlamning umumiy qalinligi (mkm); material; o'tkazuvchanlik turi; legirlovchi element; taglikning solishtirma qarshiligi ($\text{Om}\cdot\text{sm}$); taglikning oriyentatsiyasi va undan og'ish burchagi (graduslarda); asosli qirqimning oriyentatsiyasi va og'ish burchagi; strukturaning nominal diametri (mm). Bunday belgilashga misol:

$$\begin{array}{l} 12 \text{ KЭФ} - 0,8 / 3,5 \text{ KXC} - 30 \\ \hline 312 \text{ KДБ} - 10 (111) - 8, \left| \begin{array}{cc} 11 & 2 \end{array} \right| = 45 \end{array}$$

Geteroepitaksiyalı strukturalar monokristall taglikda o'tkazuvchanligi n-yoki p-turli bo'lgan hamda taglik materialidan boshqa material monokristall qatlamlarini o'stirish bilan tayyorlanadi.

Geteroepitaksiyalı strukturalarni belgilashga misol:

$$\begin{array}{l} 10 \text{ KДБ} \quad 0,5, \\ 60 \text{ C } 250 \end{array}$$

bu yerda suratda qatlamning parametri keltirilgan – qalinligi 10 mkm, material – kremniy p-turli, bor bilan legirlangan, qatlamning solishtirma qarshiligi 0,5 $\text{Om}\cdot\text{sm}$; maxrajda birinchi son strukturaning diametrini belgilaydi – 60 mm, C harfi – taglik materialini ko'rsatadi – sapfir, ikkinchi son – taglikning qalinligi – 250 mkm.

Kremniy qatlamlarining epitaksiyasi

Bug'-gazli fazadan epitaksiya. IMS texnologiyasida kremniy gazli fazadan epitaksiya qilinadi. Kremniy epitaksiyasining eng ko'p tarqalgan usuli bu xlorid usuli bo'lib, bunda kremniy xloridi SiCl_4 yodород H_2 yordamida qaytariladi. Hosil qilinayotgan epitaksial qatlam xlor Cl bilan ifloslanganligi sababli va jarayon temperaturasini pasaytirish maqsadida gidrid usuli samarali hisoblanadi.

Kremniy va germaniy epitaksiyasining texnologik xususiyatlari. Kremniy va germaniyni epitaksiyalı qatlamlarini

oʻstirishda eng koʻp qoʻllaniladigan usul bu bugʻ-gaz fazasidan epitaksiya qilish boʻlib, eng asosiylari ularning tetraxloridlarini vodorod bilan tiklash va monosilan SiH_4 va monogerman GeH_4 larni termik ajratish usullaridir. Bunda qizdirilgan taglik ustidan xlorid yoki gidrid va legirlovchi kirishmalarning bugʻlari bilan birgalikdagi vodorod gazi oʻtkazilishi natijasida qaytarilgan kremniy yoki germaniyni monokristall qatlamlari shu taglik ustiga oʻtiradi.

Epitaksial oʻstirishning tipik jarayonlari quyidagi operatsiyalardan tashkil topadi:

- Reaktorga plastinalarni yuklash.
- Reaktorni inert gazlar va vodorod bilan puflash.
- Plastinani qizdirish va ularni tozalash maqsadida gazsimon yemiruvchi reagentlarni yuborish.
- Yemirishni toʻxtatish va oʻstirish uchun kerakli boʻlgan temperaturani oʻrnatish.
- Epitaksial qatlamlarni oʻtqazish va legirlash uchun reagentlarni (xloridning bugʻlari yoki gidridlar va legirlovchi kirishmalarni vodorod bilan birgalikda) berish.
- Reagentlar berishni toʻxtatish va vodorod bilan qisqa muddatli puflash.
- Qizdirishni toʻxtatish, vodorod va inert gazlar bilan puflash.
- Reaktordan plastinalarni olish.

Kremniy epitaksiyasining xloridli usuli. Bu usul soddaligi va boshlangʻich materiallarning bemalolligi tufayli keng tarqalgan. Bunda kremniy tetraxlorid - SiCl_4 bugʻi va vodorod H_2 reaktorga beriladi va u yerda kremniy tiklanishining asosiy reaksiyasi yuz beradi:



Baʼzan tetraxlorid SiCl_4 oʻrniga uchxlor bilan SiHCl_3 dan foydalaniladi. Bunda kremniyning tiklanish reaksiyasi quyidagicha boʻladi:



Agar xlorli vodorod HCl ortiqcha boʻlsa, unda ikkita reaksiya ham oʻngdan chapga boradi. Bunday holdan tagliklarni gazli yemirish usuli bilan tozalash sifatida foydalaniladi. SiCl_4 ning kichik konsentratsiyalarida oʻsish tezligi konsentratsiyaga chiziqli bogʻlangan boʻladi. SiCl_4 ning katta konsentratsiyalarida oʻsish tezligi kamayadi va taglikni kimyoviy yemirish jarayoni boshlanadi. Odatda

vodorodda SiCl_4 ning konsentratsiyasi 1% gacha bo'lgandagina o'sish reaksiyasi yuz beradi.

Kremniy quyidagi sharoitda o'tqazilishi mumkin:

- Harorat intervali $1150 \div 1250^\circ\text{C}$ atrofida bo'lishi kerak.
- Vodorodda SiCl_4 ning konsentratsiyasi $0,5 \div 1\%$ sathda ushlab turiladi.
- Gaz oqimining tezligi $0,1 \div 1$ m/s ni tashkl qilishi kerak.

Mana shu shartlar bajarilganda o'sish tezligi 1 mkm/min ga yaqin bo'ladi.

Kremniy epitaksiyasining gidrid usuli. Epitaksiya jarayonini xloridli usul yordamida o'tkazilganda taglikning harorati 1200°C atrofida bo'ladi. Bunday haroratda kuchli legirlangan taglikdan kirishmalar kuchsiz legirlangan epitaksial qatlamga sezilarli diffuziyalanadi. Bu hodisa avtolegirlash deyiladi va u kirishmalar taqsimotiga salbiy ta'sir qiladi. Bu ta'sirni kamaytirish maqsadida yo diffuziya koeffitsienti kichik bo'lgan kirishmalardan foydalaniladi, masalan: fosfor P o'rniga surma Sb yoki mishyak As, yoki jarayon temperaturasini kamaytirish kerak bo'ladi.

Kremniy epitaksiyasida gidrid usulidan foydalanilganda jarayon haroratini 1000°C gacha kamaytirish imkoniyatiga ega bo'linadi. Gidrid usulining mohiyati monosilan SiH_4 ni piroliz qilishdir. Shu sababli bu usul silan usuli ham deyiladi.

Gidrid usulida monosilan SiH_4 harorat ta'sirida parchalanadi va bu reaksiya quyidagi ko'rinishga ega bo'ladi:



Bunda erkin kremniy harorati 1000°C gacha kamaytirilgan taglikka o'tiradi. Bu esa taglikdan kirishmalar diffuziyasini amalda yo'q qiladi va legirlovchi kirishmalari bir xil taqsimlangan epitaksiyal qatlam o'sishini ta'minlaydi.

Gidrid usuli quyidagi sharoitda o'tkaziladi:

1. O'tqazishning optimal harorati $1050 \div 1100^\circ\text{C}$.
2. Manba sifatida $4 \div 5\%$ SiH_4 va $95 \div 96\%$ yuqori tozalikdagi inert gazlari yoki vodoroddan tashkil topgan manba qo'llaniladi.
3. O'tqazish vaqtida vodoroddagi monosilan SiH_4 ning konsentratsiyasi $0,05 \div 0,1\%$.

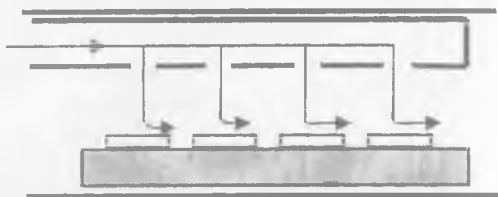
4. Gaz oqimining tezligi $30 \div 50$ sm/s.

Bu shartlar bajarilganda o'sish tezligi 0,2 dan 2 mkm/min gacha o'zgaradi.

Epitaksiyalı qatlam oʻstirish qurilmalari (reaktorlari).

Epitaksiyalı qatlam oʻstiriladigan qurilmalar - reaktorlar konstruksiya jihatidan asosan 2 turli boʻladi: gorizontal va vertikal. Gorizontal reaktorlar eng oddiy konstruksiyaga ega. Bugʻ - gaz aralashmasining oqimi taglik ushlagichga parallel harakatlanib, plastina ustidan oqib oʻtadi va bunda oqimning konsentratsiyasi borgan sari kamayib boradi. Tagliklarda hosil boʻlgan epitaksiyalı qatlamlarning qalinligi va solishtirma qarshiligi vaqtga bogʻliq holda oʻzgarib boradi. Hamma tagliklarda epitaksiyalı qatlamlar bir xil qalinlikda oʻsishi va bir xil solishtirma qarshilikka ega boʻlishi uchun ikkita usuldan foydalaniladi: taglik ushlagich gaz oqimi yoʻnalishiga maʼlum bir burchak ostida oʻrnatiladi, yoki taglik ushlagichning uzunligi boʻyicha gaz taqsimlagichdan foydalaniladi (1.1-rasm).

Gorizontal reaktorlarda kerakli sharoitlarni hosil qilib parametrlari bir xil boʻlgan epitaksial qatlam oʻstirish ancha murakkab. Vertikal reaktorlar konstruksiyasi oʻq simmetriyalı boʻlganligi sababli bugʻ-gaz aralash-

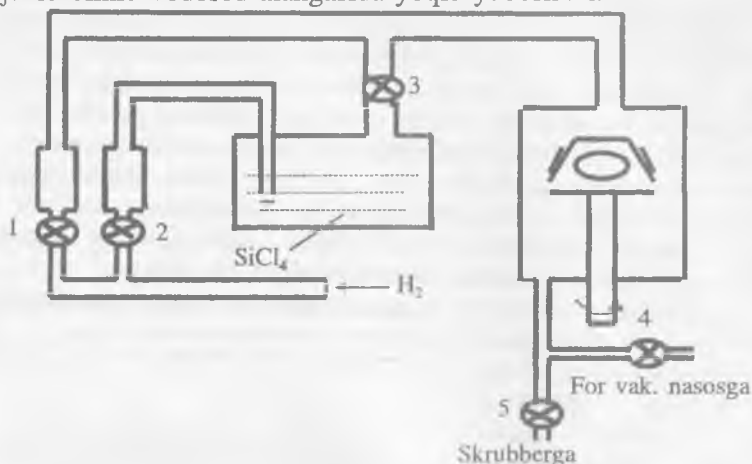


1.1-rasm. Si epitaksiya oʻtqazishning gorizontal reaktor sxemasi

masini qizdirish va oqimi uchun eng yaxshi sharoit yaratib beradi. Vertikal reaktorlarda tagliklar oʻq simmetriyasiga asosan aylantirib turiladi. Bu esa issiqlik va gaz dinamikali maydonlarni bir xil ushlab turishga yordam beradi. 1.2-rasmda mana shunday qurilmaning prinsipial sxemasi koʻrsatilgan. Tetraxlorid kremniyli yoki legirlovchi qoʻshimchalar bilan birgalikdagi - $\text{SiCl}_4 + \text{BBr}_3$ yoki $\text{SiCl}_4 + \text{PCl}_5$ aralashmalı idish SiCl_4 ning temperaturasini oʻta yuqori aniqlikda ushlab turadigan termostatga joylashtiriladi. Odatda bu temperatura 0°C atrofida boʻladi, chunki SiCl_4 - oʻta uchuvchan suyuqlikdir. Kislorod va namlikdan tozalash maqsadida platina yoki palladiy diafragmalari orqali oʻtkazilgan vodorod sistemaga 1 - kran va uning sarfini oʻlchab turuvchi rotometr orqali beriladi. 2, 3, 4 - kranlar yopiq turadi. Kremniyli tagliklar $1000 - 1200^\circ\text{C}$ gacha qizdiriladi va vodorod oqimida sirlari tozalanadi. 1- kran yopiladi va 2, 3 - kranlar ochiladi.

Vodorod SiCl_4 idishi orqali oʻtkazilib, SiCl_4 bugʻi bilan toʻyintiriladi va u reaktorda elementar kremniygacha tiklanadi.

Reaksiya mahsulotlari - SiCl_4 , H_2 , HCl va boshqalar ochiq 5 - kran orqali skrubberga chiqarib yuboriladi. U yerda zaharli gazlar ajratib olinib vodorod alangasida yoqib yuboriladi.



1.2-pasm. Kpenniyni epitaksiya qilishning veptikal qurilma sxemasi

Zamonaviy sanoat qurilmalarida, masalan UNES-2P-KA da epitaksiya jarayoni asosan EHM yordamida boshqariladi, operator faqat plastinalarni yuklash va olish bilangina shug'ullanadi.

Qurilmaning tuzilishi

Qurilma quyidagilardan iborat:

1. Gaz taqsimlash tizimi. U bug'-gaz oqimidagi SiQ_4 , GeSl_4 va H larning nisbatlarini boshqarish imkoniyatini beradi.

2. Reaksiya o'tadigan kamera. Unda epitaksial qatlam o'tqazish jarayoni amalga oshiriladi.

3. Yuqori chastotali generator ($f=440\text{kGs}$).

4. Sovitgich qurilmasi. U kameraning ayrim qismlarini sovitishga xizmat qiladi.

5. Tekshirish va boshqarish paneli.

Qatlam hosil qilish jarayoni kvardsdan qilingan reaksiya qurulmasida amalga oshiriladi. Quvur yuqori chastotali tok orqali qizdiriladigan supachaga o'rnatilgan bo'lib, unga monokristall strukturaga ega kremniy materiali qo'yiladi.

Jarayonda ishlatiladigan vodorod maxsus usulda sorbsion tozalash yoki $450-500^\circ\text{C}$ ga qizdirilgan palladiy orqali haydash yo'li bilan tozalanadi. Tozalangan vodorod reaksiya boradigan quvurga uzluksiz ravishda beriladi. Vodorodning yana bir oqimi maxsus idish

(bug`lantiruvchi) orqali o`tib, kremniy tetraxloridi bug`larga to`yungan reaksiya quvuriga o`tadi. Bu yerda tiklash reaksiyasi sodir bo`ladi va ajralgan kremniy reaksiya haroratigacha qizdirlgan taglikka o`tiradi. Aralashma konsentratsiyasini yoki tetraxlorid kremniyning haroratini o`zgartirib, aralashmadan tetraxlorid kremniy miqdorini o`zgartirish (oshirish, kamaytirish) mumkin.

Jarayonni o`tkazish tartibi

Si (yoki Ge) qatlamlarini epitaksial o`stirish jarayoni yo`riqnomada keltirilgan ketma-ketliklar bo`yicha bajariladi.

Tajribani o`tkazish tartibi

1. Haroratning uch xil qiymati T_1 , T_2 , T_3 larda va bir xil vaqtda kremniyli taglikda kremniyning epitaksial qatlamlari hosil qilinadi.

2. $T = \text{const}$ bo`lganda vaqtga bog`liq holda har xil qalinlikdagi epitaksial qatlamlar tayyorlanadi.

3. Epitaksial qatlamlarning qalinliklari baholanadi.

Sinov savollari

1. Epitaksiyaning mohiyatini aytib bering.

2. Epitaksial strukturaning ustunliklarini aytib bering.

3. Avtoepitaksiya va geteroepitaksiya nima?

4. Epitaksial o`tkazishning asosiy ustunliklarini aytib bering.

5. Kremniy va germaniyaning epitaksial qatlamini hosil qilishning texnologik usullari qanaqa?

6. Epitaksial strukturalarni legirlashning mohiyatini tushuntirib bering.

2 - TAJRIBA ISHI

KREMNIY EPITAKSIAL QATLAMLARINING PARAMETRLARINI TEKSHIRISH

Ishdan maqsad: Epitaksial o`stirilgan kremniy kristallarining yupqa qatlamining sifatini aniqlash va parametrlarini tekshirish

Nazariy qism

Sifatni nazorat qilish. Olingan qatlamning elektrolitik xususiyatlari faqat o`stirish shartlariga bog`liq bo`lmagan, jarayonda qatnashadigan elementlar tarkibi va qurilmaning tozaligiga, taglikning tekis va toza bo`lishiga ko`p jihatdan bog`liq.

Ko`plab eksperimental tadqiqotlar natijasida sirtida oksidlar, karbidlar va boshqa chetki aralashmalarning ko`payishi bilan taxlanish

nuqsonlari zichligining oshishi aniqlangan. Shuning uchun oʻstirishdan oldin taglik sirtini tayyorlash katta ahamiyatga ega.

Kremniyli taglikka avval mexanik ishlov berilib, silliqiladi. Sirtida juda mayda yoriqchalarning hosil boʻlishi va ishlovda qoʻllanilgan materiallarining qolishi tufayli kimyoviy usulda ishlov beriladi. Bu yoʻl bilan anchagina kamchiliklarni bartaraf etish mumkin. Lekin azot va ftorid kislotalarining qoldiqlari zararli taʼsir koʻrsatadi. Taglikni tozalaganda baʼzan oksid dogʻlari paydo boʻladi. Koʻp hollarda bu dogʻlar jarayon boshida qizdirilganda yoʻqolib ketadi, lekin bir qanchasi qolib taxlanishdagi nuqsonlarni paydo qilishi mumkin.

Gaz bilan yemirish usuli bu kamchiliklardan xoli boʻlib, u yarimoʻtkazgichli materialning erish haroratiga yaqin haroratlarda gaz bilan reaksiyaga kirishishiga asoslanadi. Reaksiya mahsulotlari bugʻlarning katta elastiklikligiga ega boʻlib, gaz oqimi bilan yarimoʻtkazgich sirtidan ketishi oson. Bu usulni qoʻllash sirt holatini yaxshilab, mikroaralashmalarni yoʻqotadi. Natijada oksidli qatlamlar va buzilishlar kamayadi.

Jarayonda tashuvchi vazifasini oʻtovchi vodorodning tozaligi katta ahamiyatga egadir. Tozalash texnik vodorodni naychasimon suzgichlar orasidan oʻtkazishga asoslangan. Suzgichlar palladiy quymasidan yasalgan boʻlib, ular saylab diffuziyalash asosida ishlaydi va vodorodni faqat yuqori haroratlarda oʻtkazadi ($425 - 475^{\circ}\text{C}$). Tozalangan vodorod "F" suzgich va joʻmrak orqali 8 kgk/sm^3 bosim ostida beriladi. Suzgichning qizdirilgan sirtida vodorod molekulalari parchalanadi, hosil boʻlgan atom va protonlar palladiy kristall panjarasidan oʻtib, qaytadan birikadi va vodorod molekulalarini hosil qiladi. Past haroratlarda palladiy vodorod bilan kuchsiz bogʻlangan birikmalar hosil qilganligi tufayli oʻtish ehtimolligi past. Shuning uchun vodorodni 400°C dan yuqori qizdirilgan suzgichga yoʻnaltirish mumkin emas.

Membrana-naychalarni qizdirish simdan yasalgan qizdirgichlar yordamida amalga oshiriladi. Harorat koʻrsatkichi sifatida suzgichga oʻrnatilgan X-A (xromel-alyumel) termopara xizmat qiladi. Haroratni saqlab turish va kuzatishni millivoltmetr taʼminlaydi va u har bir haroratning 2 holatli avtomatik moslagich vazifasini bajaradi.

Vodorodni tozalash jaryoni boshlanishdan oldin qurilmada vakuum hosil qilinadi. Bosim joʻmraklar yopiq va joʻmraklar ochiq holda 1 kgk/sm^3 gacha kamaytiriladi. Bosim boshlangich va tozalangan gaz yoʻnalishida joylashgan monovakuummetrlar yordamida kuzatiladi.

Kremniyning epitaksial qatlamlarida struktura nomukammalliklarning asosiy turlari tiklanish nuqsonlari, dislokatsiyalar va piramida ko'rinishidagi o'sish figuralari kabi nomukammalliklar kuzatiladi. Qattiq qotishmalar qatlamlaridagi strukturaviy asosiy nuqsonlarni tekshirish uchun optik mikroskop selektivli emirish bilan birgalikda qo'llaniladi. Bunda sirt tuzulishini, o'sish figuralarni kuzatish va qatlamlardagi nuqsonlarning sirt zichligini miqdoriy baholash mumkin.

Epitaksial qatlamlarning parametrlarini nazorat qilish. Epitaksial qatlamlarning qalinliklari, solishtirma qarshiliklari, kirishmalar konsentratsiyalarining qalinlik bo'yicha taqsimotlari va nuqsonlarning zichligi nazorat qilinadi.

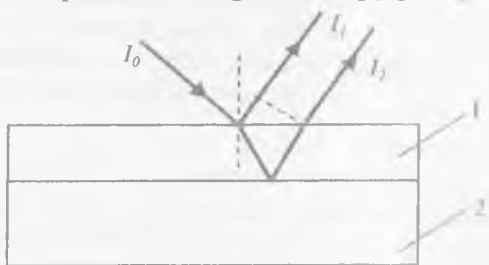
Epitaksial qatlamlarning qalinligi sferik shlifning bo'yalishi yoki silindrik shlifni fotoelektrik skanlash usullari yordamida aniqlanadi. Nazoratning bu usullari buzuvchi bo'lib, odatda *yo'ldosh plastina* deb ataladigan qo'shimcha plastinalar ustida bajariladi. Ishchi plastinalardagi epitaksial qatlamlarning qalinligi buzmaydigan kontaktsiz usul bo'lgan IQ-interferensiyasi usuli bilan nazorat qilinadi (2.1-rasm). Bu usul epitaksial qatlam 1 ning sirtidan qaytgan I_1 va epitaksial qatlam – plastina 2 chegarasidan qaytgan I_2 nurlarning interferensiyasi

hodisasiga asoslangan bo'lib, bunda epitaksial qatlamlarning optik konstantalari plastinaning optik konstantalaridan anchaga farq qilishi kerak. Masalan, solishtirma qarshiligi 0,01 Om-sm bo'lgan kichikomli plastinada

o'stirilgan 20–30 Om-sm yuqori omli epitaksial qatlam yoki yashirin qatlam ustidagi epitaksial qatlam. Agar tushayotgan nurlanish I_0 ning to'lqin uzunligi o'zgartirilsa, I_1 va I_2 nurlanishlarning ustma ust tushishi natijasida I_1 va I_2 nurlar orasidagi fazalar farqi butun sonli yarim to'lqinlarga teng bo'ladigan to'lqin uzunliklariga mos bo'lgan qaytgan nurlanish intensivligida maksimumlar va minimumlar kuzatiladi.

Hosil qilingan interferogrammalar tahlilida ikki qo'shni ekstremumlarning (maksimum va minimum) joylashish farqi topiladi. Undan so'nra quyidagi formula yordamida epitaksial qatlamning qalinligi h_{IQ} hisoblanadi

$$h_{\text{IQ}} = [4n(\nu_{m+1} - \nu_m)]^{-1} \quad (2.1)$$



2.1-rasm. Kuchli legirlangan plastinadagi epitaksial strukturalardan IQ-nurlanishning qaytish sxemasi:

1 – epitaksial qatlam; 2 – plastina

bu yerda n – epitaksial qatlamning sindirish ko'rsatkichi; $v_m = 1/\lambda_m$ va $v_{m+1} = 1/\lambda_{m+1}$ to'lqinlar soni; λ_{m+1} , λ_m – ikki qo'shni ekstremumlarga to'g'ri keladigan nurlanishlarning to'lqin uzunliklari.

Yashirin qatlamli strukturalarda epitaksial qatlamlarning qalinliklarini nazorat qilish uchun maxsus *test yacheykasi* – yashirin qatlam uchastkasi katta bo'lgan plastina tayyorlanadi.

Epitaksial qatlamlarning qalinliklarini 3mkmdan 50 mkmgacha oraliqda IQ-interferensiyasi usuli bilan aniqlashda o'lchash aniqligi $\pm 5\%$ ni tashkil qiladi.

Epitaksial qatlamning solishtirma qarshiligi va qalinlik bo'yicha kirishma konsentratsiyasining taqsimoti diffuzion qatlamdagi kabi topiladi. Solishtirma qarshilikni topish uchun avval sirtning solishtirma qarshiligi ρ_s IUS-3 asbobida o'lchanadi va quyidagi formula yordamida hisoblanadi:

$$\rho_v = \rho_s h_{EQ}, \text{ Om}\cdot\text{sm} \quad (2.2)$$

Tajribani o'tkazish tartibi

1. To'rt zondli qurilma sozlanadi.
2. Epitaksial qatlamning qalinligi baholanadi.
3. Har xil haroratlarda va vaqtlarda hosil qilingan har bir qatlam sirtining solishtirma qarshiligi to'rt zondli qurilmada o'lchanadi.
4. Olingan natijalar quyidagi jadvalga kiritiladi.

2.1-jadval

N	$T_1 =$			$T_2 =$			$T_3 =$		
	t, min	h, mkm	ρ , Om·sm	t, min	h, mkm	ρ , Om·sm	t, min	h, mkm	ρ , Om·sm

Sinov savollari

1. Epitaksiyali qatamlar o'stiriladigan tagliklarga qanday talablar qo'yiladi?
2. Vodorod gazi nima maqsadda qo'llanilishini aytib bering.
3. Vodorod gaziga qanday talablar qo'yiladi?
4. Vodorod gazini tozalash jarayonini tushuntirib bering.
5. Suzgichning vazifasi va qanday materialdan tayyorlanishini aytib bering.
6. Epitaksial qatamlar qanday maqsadda qo'llaniladi?

3- TAJRIBA ISHI

TERMOVAKUUMLI BUG`LANTIRISH YORDAMIDA QATTIQ JISMLAR YUZASIDA METALLAR YUPQA QATLAMLARI NING HOSIL BO`LISH JARAYONINI O`RGANISH

Ishdan maqsad: Yuqori vakuumli universal qurilma (VUP) bilan ishlashni va har xil metallarning yupqa qatlamini hosil qilishning termovakuumli bug`lantirish usuli va yupqa qatlam hosil bo`lish jarayoni bilan tanishish.

Nazariy qism

Yarimo`tkazgichlar texnologiyasida strukturalarning sirtiga yupqa qatlamli qoplamalarni vakuumda o`tzazish yoki olib tashlash kabi jarayonlar katta o`rin egallaydi. Bu jarayonlar siyraklashgan gazlarda kechadigan molekulyar-kinetik hodisalarga asoslangan. Yupqa plyonkalar o`tzazishning ikkita asosiy usuli mavjud:

1. Termovakuumli bug`lanirib o`tzazish;
2. Katodli changlantirib o`tzazish.

Termovakuumli bug`lantirib o`tzazishda modda bug`lanish haroratigacha qizdiriladi va uning bug`lari taglik sirtida kondensatsiyalanadi. Bunda taglikning harorati bug` manbaining haroratidan pastroq bo`ladi. Katodli changlantirib o`tzazishda xona haroratida bo`lgan o`tzaziladigan modda gaz razryadi plazmasidagi kichik energiyali ionlar bilan bombardimon qilinadi. Buning natijasida changlangan atomlar taglikka yetib boradi va uning sirtida kondensatsiyalanadi. Bu ikkala usuldan o`tkazuvchi, rezistivli va dielektrikli plyonkalar hosil qilishda foydalaniladi.

Termovakuumli bug`lantirib o`tzazish

Usulning asosi. Usul modda bug`ining yo`nalgan oqimini hosil qilish va bu bug` oqimini harorati bug` manbai haroratidan kichik bo`lgan taglik sirtiga kondensatsiyalanishiga asoslangan. Termovakuumli bug`lantirib o`tzazish jarayonini to`rtta bosqichga bo`lish mumkin: modda bug`ini hosil qilish, bug`ning manbadan taglikka tomon tarqalishi, taglikda bug`ning kondensatsiyalanishi, o`sish markazlarining hosil bo`lishi va plyonkaning o`sishi.

*Modda bug`ini hosil qilish* uchun modda bug`lantiriladi yoki sublimatsiyalanadi. Modda qizdirilganda undagi atomlarning o`rtacha kinetik energiyasi oshib boradi. Buning natijasida ularning atomlararo bog`lanishni uzish ehtimoli ham oshadi. Atomlar sirtidan ajralib chiqadi va fazoda tarqalib bug` hosil qiladi.

Tizimning muvozanat holatida, ya'ni modda sirtidan chiqib ketayotgan atomlar soni qaytib tushayotgan atomlar soniga teng bo'lgan holatga mos keluvchi bug'ning bosimi r_s to'yingan bug'ning bosimi deyiladi. Bug'lanishning shartli harorati deb $r_s = 1,33$ Pa ga teng bo'ladigan moddaning haroratiga aytiladi.

Bug'lanishning solishtirma tezligi deb 1 sm^2 yuzadan bir sekunda bug'lanayotgan moddaning grammalar hisobidagi miqdoriga aytiladi va quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

$$V_{\text{bug}} = 5,85 p_s \sqrt{M/T}, \quad (3.1)$$

bu yerda p_s – modda to'yingan bug'ining bosimi, Pa; M – moddaning molekulyar massasi, g/mol; T – moddaning harorati, K.

Bug'ning manbadan taglikka tomon tarqalishi birinchi navbatda vakuum darajasi ta'sir qiladigan diffuziya va konveksiya yo'llari bilan amalga oshadi. Bug'lanayotgan materialning isroflanishini kamaytirish va bir xil qalinlikdagi plyonka hosil qilish uchun zarrachalarning taglik tomon to'g'ri chiziqli harakatini amalga oshirish kerak. Buning asosiy sharti bug' zarrachasining erkin yugurish yo'li uzunligi manba – taglik masofasidan katta bo'lishligidir.

Gazlarning kinetik nazariyasiga binoan

$$\lambda_{o,r} = kT / (\pi \sqrt{2} \delta^2 p), \quad (3.2)$$

bu yerda $\lambda_{o,r}$ – gaz molekulasini erkin yugurish yo'lining o'rtacha uzunligi, sm; $k = 1,37 \cdot 10^{-17} \text{ Pa} \cdot \text{sm}^3/\text{K}$ – Boltzman doimiysi; T – gazning absolyut harorati, K; δ – gaz zarrachasining effektiv diametri, sm; p – gazning bosimi, Pa.

(3.2) ifodaga binoan $p \approx 10^3$ Pa dan boshlab gaz zarrachalarining erkin yugurish yo'li uzunligi bug' manбайдan taglikkacha bo'lgan masofadan (bu masofa sanoatda ishlatiladigan vakuum qurilmalarida 30 sm dan oshmaydi) katta bo'ladi. Demak, mana shu bosimdan boshlab bug' zarrachasining qoldiq gaz molekullari bilan to'qnashish ehtimolligi juda kichik bo'ladi va bug'lantirilayotgan moddaning zarrachalari taglik tomon to'g'ri chiziqli harakat qiladi.

Taglik sirtida bug'ning kondensatsiyalanishi taglikning haroratiga va atomli oqim zichligiga bog'liq bo'ladi. Taglikka yetib borgan bug' atomlari a) shu zahoti undan qaytishi (elastik to'qnashish), b) adsorbsiyalanadi va qisqa vaqtdan so'ng taglikdan qaytib chiqishi (qayta bug'lanish), c) adsorbsiyalanadi va sirt

bo'ylab qisqa vaqtli migratsiyadan so'ng unda butunlay qoladi (kondensatsiya).

Bug' atomlarining taglik atomlari bilan bog'lanish energiyani taglik atomlarining o'rtacha energiyasidan katta bo'lsa, kondensatsiya kuzatiladi, aks holda atomlar sirtidan qaytib ketadi. Agar taglik qizdirilgan bo'lsa, uning atomlarining energiyasi katta va bug'larning kondensatsiyalanish ehtimoli kichik bo'ladi.

Bug' oqimining berilgan zichligida taglik sirtidan hamma atomlar qaytib ketadigan va yupqa qatlam hosil bo'lmaydigan harorat kondensatsiyaning kritik harorati deyiladi.

Berilgan temperatura uchun atomlar oqimning kritik zichligi deb, taglikda atomlar kondensatsiyalanadigan eng kichik zichlikka aytiladi.

O'sish markazlarining hosil bo'lishi atomlarning atom – taglik tizimida erkin energiyaning minimumiga mos keluvchi o'rinlarni topish natijasida ro'y beradi. Bug'larning kondensatsiyalanishi davomida o'simtalar o'sib boradi, ular orasida birlashtiruvchi ko'priklarchalar hosil bo'ladi, o'simtalar birlashib, yirik orolchalarga aylanadi. Bundan so'ng orolchalar birlashib, bitta to'r hosil bo'ladi. To'r yaxlit plyonkaga aylanadi va qalinlik bo'yicha o'sish boshlanadi. Mana shu vaqtdan boshlab taglikning ta'siri yo'q bo'ladi va bug' zarrachalari sirtidan umuman qaytmasdan hammasi amalda kondensatsiyalana boshlaydi.

Vakuumba moddani kondensatsiyalash (bug'langan zarralarni sovutish hisobiga qattiq massaga aylantirish) usuli bilan metall, yarim-o'tkazgich va izolyatsiyalovchi plyonkalar (pardalar) hosil qilish elektron texnika asbobsozligida va mikroelektronikada katta o'rin egallaydi.

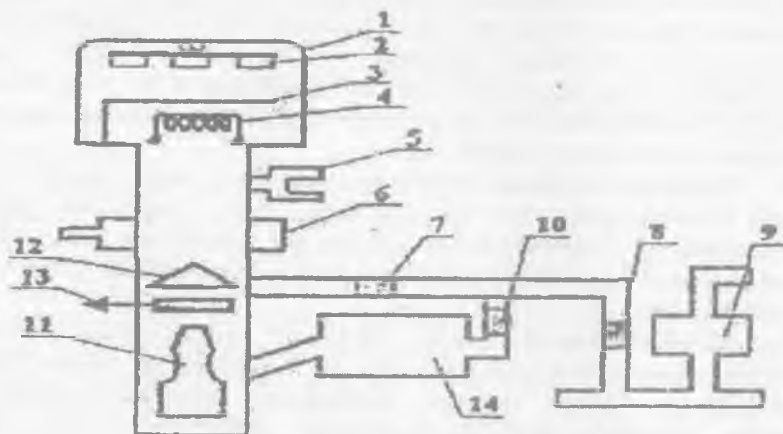
Kondensatsiyalash usuli vakuumda atom zarrachalarining (alohida atomlar, molekulalar va ionlar) yo'naltirilgan oqimini hosil qilishdan va ularni taglikda (podlojkada) kondensatsiyalashdan, buning natijasida berilgan moddaning amorf, polikristall yoki monokristall pardasi (yupqa qatlami)ni hosil qilishdan iboratdir.

Vakuumba kondensatsiyalash uchun atom yoki molekulalarning bir-biri bilan to'qnashmaydigan, to'g'ri chiziqli harakatlanuvchi oqimidan foydalaniladi. Bu changlanuvchi materialdan nihoyatda tejimli foydalanish imkonini beradi. Bu asosan qimmatbaho materiallarni, metallarni va yer yuzida kam uchraydigan elementlar hamda ularning birikmalarining yupqa qatlamlarini hosil qilishda muhim

ahamiyatga egadir. Bundan tashqari bunday oqimdan foydalanilganda taglikda yupqa qatlam o'sishning tezligi kattaroq bo'ladi.

Modda molekulasining (molekulalar dastasining) to'g'ri chiziqli trayektoriyasini ushbu molekulalar taglik tomon yo'naltirilganda vakuum kamerasidagi qoldiq gaz molekulalari bilan to'qnashishi hisobga olmaydigan darajada siyraklashtirilgandagina hosil qilish mumkin.

Hisoblashlar shuni ko'rsatdiki, taglikka o'tqazilayotgan moddaning kerakli yuzada bir tekis o'sish sharti (ya'ni, qatlam qalinligining notekisligi 1% dan kam bo'lsa, $d/d_0=0,98$) vakuum $R < 1,3 \cdot 10^{-4}$ Pa bo'lsagina bajariladi. Bu darajadagi siyraklanishni hosil qilish uchun forvakuumli va diffuziyali nasosga ega bo'lgan vakuum sistemasidan foydalaniladi. 3.1-rasmda vakuum tizimining sxemasi keltirilgan. Ishchi hajmi quyidagilardan: 1-vakuum kamerasi va unga joylashtirilgan 2-namunalar, 4-bug'latgich va 3-to'siqdan iboratdir. $7,5 \cdot 10^{-2}$ Pa gacha bosim termoparali manometr bilan, $7,5 \cdot 10^{-2}$ Pa dan past bosim esa ionizatsion manometr bilan o'lchanadi (5).



3.1-rasm. Vakuum qurilmasining sxemasi

Qurilmani ishlatish jarayonida avval dastlabki bosqich nasosi - forvakuum nasosi (9) ishga tushiriladi. Forvakuum nasosi 9 ishga tushirilishidan oldin diffuzion nasos 11ning 12 klapani va 10 kranini yopib, 7 va 8 klapanlar esa ochiq holga keltirib olinadi. $7,5 \cdot 10^{-2}$ Pa bosim olingandan so'ng 7 kran yopiladi va 10 kran bilan 12 klapan ochiladi; buning natijasida yuqori vakuum hosil qiluvchi diffuzion nasos 11 so'rishni boshlaydi. Tasodifan forvakuum nasosi ishlamay

qolganda elektromagnitli klapan 8 ishga tushadi va ishlamay qolgan forvakuum nasos orqali sistemaga atmosfera havosining oqib o'tishidan himoyalaydi.

Diffuzion nasosning kiraverishida kameraga yog bug'laning o'tib ketishiga yo'l qo'ymaslik uchun suv bilan sovutiladigan yog qaytargich 13 joylashgan. Xuddi shu maqsad uchun hamda qoldiq gazlar bug'larini kondensatsiyalash uchun suyuq azot bilan to'ldirilgan tutgich 6 xizmat qiladi. Diffuzion nasosning chiqaverishida 10 20 l hajmli idish - forballon 14 joylashtirilgan bo'lib, bu forvakuum nasosi o'chib qolgan taqdirda diffuzion nasosning 30 minutgacha ishlashini ta'minlaydi.

Ishchi hajmda (IH) $7,5 \cdot 10^{-4}$ Pa siyraklashtirilgan bosim hosil qilingach, himoyalovchi taglikka modda yupqa qatlami bug'lantirilib o'tqaziladi. Bunday qatlamning qarshiligi uning qalinligiga kuchli bog'liq bo'ladi. Shuning uchun har xil qalinlikdagi plyonkalar (yupqa qatlamlar) hosil qilinib, solishtirma qarshiligi har xil bo'lgan namunalar olish mumkin.

Tajribani bajarish tartibi

1. VUP qurilmasining ishlashiga oid ko'rsatma o'rganilsin.

2. Ko'rsatma bo'yicha VUP ishga tushirilib, yuqori vakuum qismi (HD) ulansin.

3. Ishchi hajm qalpog'i ochilib, klemma (4)ga bug'latgich o'rnatilsin.

4. Yetarli miqdordagi bug'lanuvchi material (alyuminiy, nikel, mis bo'lakchalari) bug'latgichga qo'yilsin.

5. Ishchi hajmning qalpog'i yopilsin.

6. Ishchi hajmda yuqori vakuum hosil bo'lgach, "БКЛ" (испаритель) tugmachasi bosilib "Мощность 1,2" orqali bug'lantirgichni qizdirish uchun yetarli tok kuchi berilsin.

7. Ishchi hajmga havo qo'yilgandan so'ng (HB) tugmachasini bosish bilan) qalpoq ochiladi va yupqa qatlam hosil qilingan taglik (2) chiqarib olinadi.

8. 4 - 7 punktlar bug'lantiruvchi moddaning boshqa miqdori va turlari uchun takrorlansin.

9. Pult boshqarmasidagi "Cron" tugmachasi bosilib, signal chirog'i yongandan so'ng qurilmaning ishlashi to'xtatiladi.

9. Hosil qilingan har xil qalinlikdagi turli xildagi yupqa qatlamli namunalar tajriba ishining 2-qismi uchun saqlab qo'yiladi.

Sinov savollari

1. Metallarning yupqa qatlamlari IMSlarda qanday

maqsadlarda qo`llaniladi?

2. Qattiq jismlarning yupqa qatlamlarini hosil qilish usullarini aytib bering.

3. Bug`lanishning shartli harorati deb qanday haroratga aytiladi?

4. Bug`lanishning solishtirma tezligi qanday aniqlanadi?

5. Gaz molekulasining erkin yugurish yo`lining o`rtacha uzunligi bosimga qanday bog`liqligini aytib bering.

6. Kondensatsiyaning kritik harorati deb qanday haroratga aytiladi?

7. Atomar oqimning kritik zichligi deb qanday zichlikka aytiladi?

8. Termovakuumli buglantirish usuli bilan yupqa qatlam hosil bo`lish jarayonini tushuntirib bering.

9. Termovakuumli bug`lantirish jarayonida vakuum darajasiga qo`yilgan talab nima bilan aniqlanadi?

4 - TAJRIBA ISHI

TERMOVAKUUMLI BUG`LANTIRISH YORDAMIDA QATTIQ JISMLAR YUZASIDA HOSIL QILINGAN METALLAR YUPQA QATLAMLARINING XOSSALARINI TEKSHIRISH

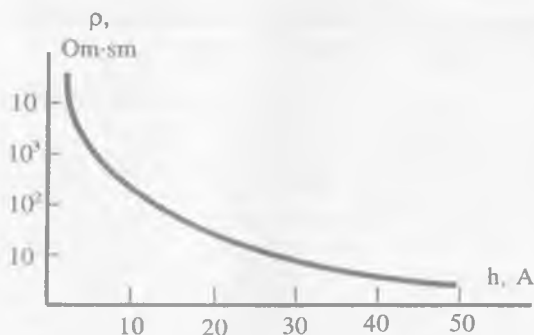
Ishdan maqsad: Yuqori vakuumli universal qurilma (VUP) yordamida termovakuumli bug`lantirish usuli bilan hosil qilingan har xil metallarning yupqa qatlamlarining xossalarini aniqlash.

Nazariy qism

Yarimo`tkazgichli IMSlar texnologiyasida elementlararo birikmalar va kontakt maydonchalarini tayyorlashda asosan alyuminiyning termovakuumli bug`lantirish usuli bilan hosil qilingan yupqa qatlamlaridan foydalaniladi. Bunda yupqa qatlamlarning qalinligi va qarshiligi bug`lantirish jarayonining qanday o`tkazilganligiga kuchli bog`liq bo`ladi. Yupqa qatlamlarning xossalarini o`rganish va kerakli parametrlarini aniqlash bilan bug`lantirish jarayoni rejimlariga tuzatishlar kiritiladi. Xususan plyonkalarining qalinligi bir necha xil usullar yordamida aniqlanadi. Masalan, gravimetrik usuli (mikrotarozida o`lchash, kvarsli rezonator usuli) yupqaplyonkali qoplamlarning massalarini o`lchashga

asoslangan boʻlib, keyin ular asosida qalinlik hisoblanadi. Optik usullar interferensiyaga asoslangan boʻlib, bunda plyonkalarining qalinligi optik nurlanish toʻlqinlari uzunligi tartibida boʻlganligidan foydalaniladi. Optik usullardan koʻproq ellipsometriya usuli qoʻllaniladi. Bulardan tashqari elektr usullaridan ham foydalaniladi.

Yupqa plyonkalarining xossalari ularni bugʻlantirib oʻtqazish texnologiyasiga oʻta sezgir boʻladi. Bunda bir xil qalinlikdagi plyonkalarining solishtirma qarshiligi, qarshilikning harorat koeffitsienti, yorugʻlikni yutish koeffitsienti kabi parametrlari ularni hosil qilish sharoitiga bogʻliq ravishda har xil boʻlishi mumkin. Shu sababli plyonkalarining qalinligini oʻtqazish jarayoni vaqtida boshqarish katta ahamiyatga ega.



4.1-rasm. Yupqa qatlam qarshiligining qalinligiga bogʻlanish grafigi

Ishchi hajmda (IH) $7,5 \cdot 10^{-4}$ Pa siyraklashtirilgan bosimda himoyalovchi taglikda bugʻlantirilib oʻtqazilgan metall yupqa qatlam qarshiligi qalinligiga kuchli bogʻliqdir (4.1-rasm).

Shuning uchun har xil qalinlikdagi plyonkalar (yupqa qatlamlar) hosil

qilinib, solishtirma qarshiligi har xil boʻlgan namunalar olish mumkin.

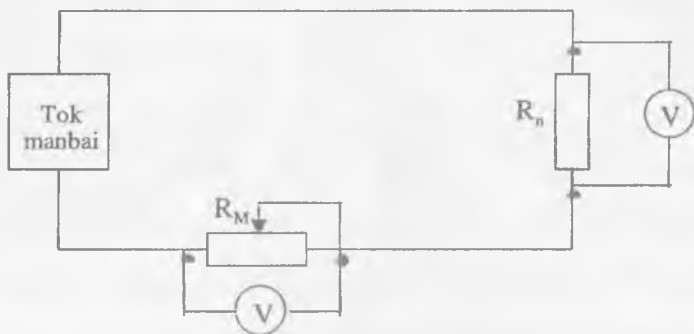
Tajribani bajarish tartibi

1. Hosil qilingan yupqa qatlamning volt-ampere tavsifi 4.2-rasmda keltirilgan sxema yordamida oʻlchansin.

2. Yupqa qatlamning qalinligini hisobga olib namunaning solishtirma qarshiligi aniqlansin. Bunda “ ρ ”-quyidagi formuladan foydalanib topiladi: $\rho = R \cdot S/l$;

3. Olingan natijalar 4.1-jadvalga yozilsin.

4. Olingan natijalardan foydalanib $I = f(U)$ va $\rho = f(d)$ grafiklari qurilsin.



4.2-rasm. Namunaning volt-amper tavsifini tekshirish qurilmasining sxemasi:
 R_M – qarshilik magazini –reostat, R_n - namuna

4.1-jadval

№	Namuna- ning qalinligi, d, A	To`g`ri yo`nalish		Teskari yo`nalish		$R_{to\ g}$ Om	R_{tes} Om	$R_{o`r}$ Om	ρ , Om·sm
		U, V	I, mA	U, V	I, mA				
1									
2									
3									
4									
5									
6									

Sinov savollari

1. Metallarning yupqa qatlamlari IMSlarda qanday maqsadlarda qo`llaniladi?
2. Qattiq jismlarning yupqa qatlamlarini hosil qilish usullarini aytib bering.
3. Termovakuumli bug`lantirish usuli bilan yupqa qatlam hosil bo`lish jarayonini tushuntirib bering.
4. Termovakuumli bug`lantirish jarayonida vakuum darajasiga qo`yilgan talab nima bilan aniqlanadi?
5. Termovakuumli bug`lantirishning asosiy parametrlarini va ularni qanday tanlash kerakligini aytib bering.
6. 4.1-rasmda keltirilgan yupqa qatlam qarshiligining qalinlikka bog`lanish grafigini tushuntirib bering.

7. Yupqa qatlamning qalinligi qanday usullar orqali aniqlanadi?

9. Yupqa qatlamlarning solishtirma qarshiliklari qanday topiladi?

5 - TAJRIBA ISHI

HNO₃ – NF TIZIMIDA KREMNIYNI KIMYOVIY - DINAMIK JILOLASH JARAYONINI TEKSHIRISH

Ishdan maqsad: HNO₃-NF tizimida komponentlar va haroratlarning har xil nisbatlarida kremniyni kimyoviy - dinamik jilolash jarayoni bilan tanishish.

Nazariy qism

Kimyoviy yemirish izotrop, anizotrop va selektiv yemirishlarga bo'linadi.

Izotrop yemirish - bu yarimo'tkazgichli materialning bir xil tezlik bilan barcha kristallografik yo'nalishlar bo'yicha erishidir. U yupqa qatlamlarni bir tekis olib tashlash va tekis sirt olish imkoniyatini beradi. Bunday yemirish jilolovchi yoki kimyoviy jilolash deb ham ataladi.

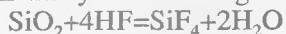
Anizotrop yemirish - bu yarimo'tkazgichli materialning har xil tezlik bilan turli kristallografik yo'nalishlar bo'yicha erishidir. U chuqur yoriqlar va tirqishlarni yemirib tashlash imkoniyatini beradi.

Selektiv (tanlab) yemirish - bu yarimo'tkazgichli materiallardagi strukturali nuqsonlarning sirtga chiqish joylarining yuqori tezlik bilan erishidir. Bunday yemirish oqibatida bu nuqsonlar oddiy ko'z yoki mikroskop ostida ko'rinadi, shu sababli ularning ko'rinishini va zichligini aniqlash mumkin. Yarimo'tkazgichli plastinkalarni yuqori sifatli va berilgan geometrik o'lchamli sirt bilan ta'minlash maqsadida kimyoviy-dinamik yemirish qo'llaniladi. Yemirgich sifatida yemirish tezligi eng kichik bo'lgan va uning qiymati qovushqoqlikka, yemirgichning aralashtiriluviga kuchliroq, haroratga esa kuchsizroq bog'liq bo'lgan jilolovchi yemirgichlar ishlatiladi.

Kremniyni kimyoviy - dinamik jilolash jarayoni NF, HNO₃ va CH₃COOH kislotalari aralashmasida olib boriladi; bunda azot kislotasi oksidlovchi vazifasini bajaradi:



Ftor kislotasi kompleks hosil qiluvchi bo`lib xizmat qiladi va u kremniy dioksidini kremniy tetraftoridiga aylantiradi (o`tkazadi):

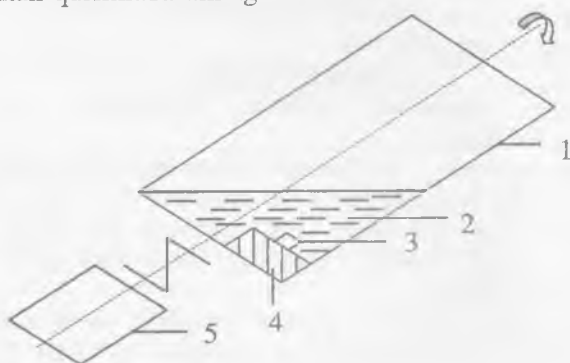


Sirka kislotasi CH_3COOH erituvchi va ingibitor (reaksiyani sekinlashtiruvchi) hisoblanadi. Ko`p hollarda hajmiy tarkibi quyidagicha bo`lgan Dyosh yemirgichi qo`llaniladi:



Yemirgich tezligini oshirish uchun sirka kislotasining hajmiy ulushi kamaytiriladi.

Kremniyni kimyoviy-dinamik jilvirlash sxemasi 5.1-rasmda ko`rsatiltan qurilmada amalga oshiriladi.



5.1-rasm. Kimyoviy - dinamik jilolash qurilmasining sxemasi: 1 - idish, 2 - yemirgich, 3 - kremniy plastinasi, 4 - ftoroplastli disk, 5 - elektrovigatel

Kremniyli plastina (3) kimyoviy chidamli lak yoki vosk yordamida ftoroplastli diskka (4) yopishtiriladi va maxsus idishga (1) joylashtiriladi, unga ma`lum miqdorda mos yemirgich quyiladi.

Yemirilish jarayonida idish 20-30 gradusli burchak ostida og`diriladi va doimiy tezlik bilan aylantiriladi.

Aylantirish vaqtida ftoroplastli disk plastinalar bilan idishning devorlari bo`ylab yumalaydi. Plastina va yemirgichning bir vaqtda harakatlanishi uning sirtiga kimyoviy reaksiya mahsulotlarining yaxshi kelishini va olib ketilishini ta`minlaydi. Bu esa o`z navbatida plastina sirti bir xil yemirilib berilgan qalinlikda va tekis parallel tomonli jilolangan plastinalar olish imkoniyatini beradi.

Shunday qilib, kimyoviy-dinamik yemirish yuqori sifatli, silliqlik darajasi 14-sinfga mos keluvchi tekis oynasimon sirtli va geometrik parametrlari aniq plastina hosil qilishda qo`llaniladi.

Agar kimyoviy ishlovlar berish jarayonida taglik statik (qo'zg'almas) holatda bo'lsa, taglikning sirlari har xil yemiriladi. Bu holatni yo'qotish uchun kimyoviy-dinamik yemirishdan foydalaniladi. Bunda taglik aylantirib, yemirgich aktiv aralashtirib turiladi.

Ishni bajarish tartibi

- Ishni bajarish uchun quyidagi mahsulotlar kerak bo'ladi:
 - 300-500 mkm qalinlikdagi n- va p-turli kremniy plastinalari,
 - azot, fluor, sirka kislotalari,
 - distillangan suv,
 - mikroskop (lupa).
- Quyidagicha hajmiy munosabatdagi kislotali yemirgichlar tayyorlansin:
 - $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{CH}_3\text{COOH} = 3:1:8$ (Dyosh yemirgichi)
 - $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{CH}_3\text{COOH} = 3:1:6$
 - $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{CH}_3\text{COOH}=3:1:4$
 - $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{CH}_3\text{COOH}=2:1:3$
 - $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{CH}_3\text{COOH} = 2:1:6$
 - $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{CH}_3\text{COOH}=2:1:4$
 - $\text{HNO}_3:\text{HF}:\text{CH}_3\text{COOH}= 3:1:0$
- Ma'lum nisbatda tayyorlangan yemirgich va kremniy plastinasi fluoroplastli stakanga joylashtirilsin.
- Stakanni ma'lum tezlik bilan aylantirib kimyoviy - dinamik jilolash jarayoni o'tkazilsin. Bu tajriba har xil aylantirish vaqti uchun (1 minutdan 10 minutgacha) qaytarilsin.
- Har bir bosqich oldidan va undan keyin plastinaning qalinligi o'lchab borilsin.
- Olingan natajalar quyidagi jadvalga kiritilsin.

5.1-jadval

№	Yemirgich (tarkibi)	Vaqt, minut	Qalinlik-h, mm		Sirtning ko'rinishi	Eslatma
			avval	keyin		
1						
2						
3						
4						
5						
6						

Sinov savollari

- Kimyoviy yemirishning turlarini aytib bering.

2. Kimyoviy-dinamik yemirish deb nimaga aytiladn va u nima maqsadda ishlatiladi?

3. Kimyoviy-dinamik jilolashda qanaqa yemirgichlar ishlatiladi?

4. Kimyoviy-dinamik jilolashda kechadigan kimyoviy reaksiyani yozib bering.

5. Yemirish tezligi qanday boshqariladi?

6. Kimyoviy-dinamik ishlov berish natijasida kremniy plastinkalarining sirti nechanchi klass dozaliga ega bo'lishini aytib bering.

7. Jilolash jarayoni davomida idish nima uchun aylantirilib turiladi?

6 - TAJRIBA Ishi

YARIMO`TKAZGICHLI PLYONKALAR MORFOLOGIYASINI REPLIKATSION ELEKTRON MIKROSKOP USULLARI BILAN O`RGANISH

Ishdan maqsad: Yarimo`tkazgichli plyonkalar morfologiyasini o`rganish asosida replika turlari bilan va elektron mikroskopning ishlash prinsipi bilan tanishish, kristall strukturasida nuqsonlar va o`simtalar hosil bo`lish jarayonini kuzatish.

Nazariy qism

Hozirgi kunda replika usuli rastrli elektron mikroskop orqali erishilgandan ham ko`ra yuqoriroq darajada ajrata olish imkoniyatiga ega bo`lgani uchun sirtlarning morfologiyasini o`rganishda keng qo`llanilmoqda. Obyektning katta bo`lmagan qismlarini replika olish yordamida o`rganish va identifikatsiyalash, oddiy rastrli yoki yoritiladigan elektron mikroskop bilan kuzatib bo`lmaydigan materiallarni bilvosita o`rganish, ularning ko`rinishi elektron oqimi ostida yoki tekshirilayotgan namuna qalinligining o`zgarishi natijasida o`zgaradiganligi uchun, faqat replika usuli yordamida amalga oshiriladi.

Replika usulidan maqsad namuna sirtining topografiyasini yoritiladigan elektron mikroskopda o`rganish uchun yaroqli shaklda to`laroq aks ettirishdan iborat .

Replikaga quyidagi asosiy talablar qo`yiladi:

1. Strukturasizlik (amorflik).

2. Relyefni elektron mikroskopning ajrata olish qobiliyatiga mos keladigan imkoniyatda aniqroq aks ettirish.

3. Tasvirning kontrastligini (aniqligini) ta'minlash

4. Sirt ko'rinishini beradigan material tekshirilayotgan obyekt moddasi bilan o'zaro ta'sirlashishi kerak emas.

5. Replika tekshirilyotgan sirtidan oson ajralishi hamda obyekt moddasi bilan har xil erituvchilarda eriydigan bo'lishi kerak.

6. Sirt ko'rinishini olish usuli ko'p mehnatni ta'lab qiladigan bo'lishi kerak emas.

7. Obyekt sirtiga shikast yetkazmasdan ko'p marotaba tekshirish imkoniyatiga ega bo'lish.

8. Replikaning mustahkamligi.

9. Elektron oqimining ta'siriga turg'unligi.

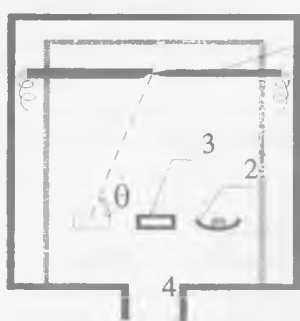
Bunday usulning afzalligi shundaki, replikalarni katta namunadan tayyorlash mumkin bo'lib, ko'rsatilgan usullarni qo'llash tekshirishni oddiylashtiradi va tezroq bajarilishini taminlaydi.

Usulning kamchiligi - namunaning ichki mikrostrukturasi to'g'risida faqat bilvosita axborot olish mumkin, ya'ni replika usuli faqat namuna strukturasi sirti to'g'risida fikr yuritish imkoniyatini beradi.

Replikalar bir pog'onali va ikki pog'onali bo'ladi. Bir pog'onali replikada yupqa plyonka namuna sirtida shunday hosil qilinadiki, bunda u ajratib olinganda unda sirtning detallari saqlanishi kerak. Keyin bu plyonka elektron mikroskopda o'rganiladi. Ikki pog'onali replikada avval nisbatan qalinroq bo'lgan plastinka bo'lagida sirt ko'rinishining izi hosil qilinadi va yakuniy yupqa replika undan ajratib olinadi. Bir pog'onali replikaning ajrata olish imkoniyati ko'p pog'onali replikaga qaraganda bir necha bor yuqoriroq va u bir necha nanometr atrofida bo'ladi. Replikani tayyorlashda ko'proq polimer, uglerod va metall oksidlari kabi materiallardan foydalaniladi. Yuqoriroq aniqlik talab etiladigan ishlarda polimer plyonkalarining o'miga ko'proq ugleroddan foydalaniladi. Uglerod replikasi ko'mir elektrod orqali o'tgan elektr toki natijasida ajraladigan joul issiqligi hisobiga termik bug'latish usuli bilan olinadi (6.1-rasm).

Usulning kamchiligi shundaki, uglerodning bug'lanishi notekis boradi (boshida juda intensiv bug'lanadi, keyin bug'lanish sekinlashadi). Agar uglerod 10^{-4} mm.sim.ust. bosimidan kichik bosimda bug'lantirilsa, u holda ajrata olish qobiliyati katta bo'lgan juda mustahkam plyonka hosil bo'ladi. Uglerodning bug'lanishi orqali olingan yupqa qatlamning rangi och jigarrang, qalinligi 50 Å gacha, past kontrastlikka ega, biroq aniqligi yaxshiroqdir. Qalinligi kattaroq qatlamning rangi to'q jigarrang va qalinligi 200-300 Å

atrofida bo`ladi. Replika usulining keyingi bosqichida namuna sirtidan uglerod plyonkasi ajratiladi. Ba`zan replikani namuna sirtiga



1. Ko`mir sterjen
2. Tomchi solingan farforli idish
3. Namuna
4. Vakuum nasosiga chiqish

6.1-rasm. Uglerodli replika olish usuli

shikast yetkazmasdan ajratish mumkin, lekin ko`p hollarda namunani yemirish yoki eritish kerak bo`ladi. Namuna sirtiga shikast yetkazmasdan replikani ajratishning eng oddiy usuli - suvli vannaga kichik burchak ostida botirishdir (6.2-rasm).



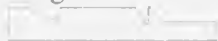
6.2-rasm. Replikani ajratishning suvli usuli

namunaning sirtqi qismi eritiladi. Agar namunaning boshlang`ich sirtini keyingi tajribalar uchun saqlash kerak bo`lsa, unda ikki pog`onali replika usulidan foydalaniladi.

Keng tarqalgan usullardan biri sifatida juda egiluvchan plastik replikadan foydalanish bo`lib, u namunadan ajralgandan so`ng uglerod bilan qoplanadi. Plastik plyonka shu zahoti erib uglerod replikasi erkin holda qoladi(6.3-rasm).

Birinci plastik plyonkaga jelatin misol bo`la oladi. Ko`pgina uglerodli replikalarda uglerodli plyonka qalinligining farqi namunaning har xil joylarida juda kam. Shuning uchun elektron mikroskopda kuzatilganda ular yetarli kontrastlikka ega bo`lmaydi. Sirt topografiyasini tasdiqlash uchun replikaning barcha qismi ugleroc yoki atom og`irligi katta elementlar bilan soyalanadi. Plyonkalai

namuna sirtiga perpendikulyar bo'lmagan ma'lum burchak ostida changlatib o'tqaziladi. Buning natijasida namuna sirtining pog'onasi orqasida og'ir element o'tirmagan soya hosil bo'ladi. Agar soyala



A) A) Namuna



B) B) Birinchi plastik plyonka - jelatin bilan qoplash



C) C) Plastik plyonkani ajratib olish



D) D) Plastik plyonkani uglerod bilan qoplash



E) E) Uglerodli replika

6.3-rasm. Ikki pog'onali replika olish sxemasi

nish burchagi ma'lum bo'lsa, u holda pog'onaning balandligi, zarrachaning o'lchamlari va shaklini aniqlash mumkin (6.4 - rasm).



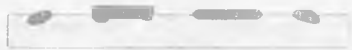
6.4-rasm. Soyalanish burchagini aniqlash sxemasi

giyada keng qo'llaniladi.

Ikki fazali strukturadan replika olish kerak bo'lsa, avval ikkinchi fazani ajratib olish uchun yemiriladi, keyin esa uglerod bilan qoplanadi (6.5-rasm).



A) A) Jilolangan sirt



B) B) Yemirishdan keyingi ajratilgan ikkinchi faza



C) C) Uglerod bilan qoplash



D) D) Ikkinchi yemirish va ajratilgan replika



6.5-rasm. Ikki fazali strukturadan replika ajratib olish sxemasi

2. Elektron mikroskopning tuzilishi va ishlash prinsipi

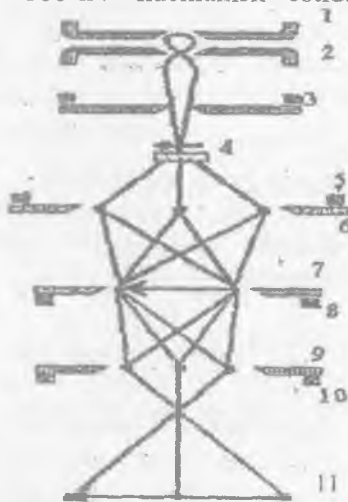
Qo'llanilishi. Elektron mikroskop ko'p maqsadli qo'llanishga mo'ljallangan statsionar laboratoriya qurilmasidir. U obyektning faza tarkibi va mikrostrukturasi o'rganish uchun tekshirishlar o'tkazishga mo'ljallangan. Mikroskop yordamida bevosita kuzatishlar o'tkazish, obyektning keng diapazonda kattalashtirilgan tasvirini suratga olish va obyektning difraksion manzarasini hosil qilish mumkin.

Mikroskopning tuzilishi. Elektron mikroskop murakkab elektron optik qurilmadir. U elektron mikroskop kolonnasi o'rnatilgan stand, boshqarish pult, yuqori voltli manba va ta'minot blokidan tashkil topgan. Bu tizimlardan tashqari mikroskop tarkibiga mexanik vakuum nasos va suvli ushlagichdan tashkil topgan so'rish tizimi kiradi.

Mikroskop kolonnasi o'zaro vintlar bilan bog'langan bir necha bloklardan iborat. Bu bloklar tarkibiga quyidagilar kiradi: elektronlar manbai, kondensor bloki, obyektiv linza, proyeksiya bloki, tubus va fotokamera.

Elektron mikroskop qismlari. Mikroskopning asosiy qismi kerakli energiyali qisman kollimirlangan elektronlar oqimini beruvchi elektron to'pidir (6.6-rasm). Ko'pgina qurilmalarda elektronlar mikroskop anodiga nisbatan 100 kV kuchlanish ostida

1. Elektron to'p.
2. Anod.
3. Kondensor linza.
4. Namuna.
5. Obyektiv linza.
6. Obyektiv linzaning orqa obyektiv fokal tekisligi.
7. Binnchi oraliq tasvir tekisligi.
8. Oraliq linza.
9. Ikkinchi oraliq tasvir tekisligi.
10. Proyeksiya linza.
11. Kuzatish ekrani.



6.6-rasm. Elektron oqimini hocil qilish sxemasi

bo'lgan o'tkir uchli qizitilgan volfram katoddan bo'ladigan termoelektron emissiya hisobiga olinadi. Anodga tomon yo'nalgan elektronlar Venelt silindri orqali o'tib anoddagi tirqish orqali chiqadi.

Shunday qilib elektron to'p effektiv diametri 50 1000 mikr bo'lgan elektronlar oqimining manbai bo'lib xizmat qiladi. Oqim to'pdan chiqqandan so'ng uncha katta bo'lmagan burchak ostida tarqaladi.

Elektronlar kondensor linzalar (odatda ikkita) yordamida fokuslanadi va namunada kerakli yoritilganlikni beradi.

To'pning va kondensor sistemasining konstruksiyasidan qat'iy nazar, elektronlar oqimi holati va og'masi bo'yicha yaxshi yustirlangan (kerakli nuqtaga yo'naltirilgan va yaxshi fokuslangan) bo'lishi kerak.

Yustirlash - elektron nurni elektron mikroskopning bosh o'qi markaziga to'g'irlash jarayonidir. Zamonaviy qurilmalarda bunday yustirovkaga magnit g'altakdan foydalanish bilan erishiladi.

Namuna maxsus ushlagichga mahkamlanadi va stolchaga joylashtiriladi. U namunani mikroskop o'qi va elektron oqimiga nisbatan berilgan oriyentatsiyada (yo'nalishda) harakatlanishini va og'ishini taminlaydi. Mikroskopning ichki qismida yuqori vakuum hosil qilinganligi sababli namuna ichkariga havosi 10^{-2} mm sim. ustunigacha so'rilgan maxsus shlyuz orqali kiritiladi. Obyektiv linza namunada elektronlar dastasini fokuslash uchun xizmat qiladi. Ikkita, uchta yoki to'rtta bo'lishi mumkin bo'lgan proyeksion linza ekranda har xil darajada kattalashtirib difraksion manzarani yoki tasvirni proyeksiyalaydi va shuning bilan kamera uzunligining o'zgarishini yoki tasvirlarning farqlani-shini ta'minlaydi. Harakatchan diafragma sistemi uch joyga:

a) elektron dastasini kollimatsiyalovchi kondensator tizimida va uning intensivligini o'zgartirishda;

b) kerakli kattalashtirishni ta'minlash uchun ma'lum bir burchak ostida namunadan chiqayotgan elektronlarni yig'ish uchun obyektivning orqa fokal tekisligida;

c) tanlangan sohadan difraksiyani olish kerak bo'lsa, namunaning ma'lum bir sohasidan o'tgan elektronlarni ko'chirib olish uchun obyektivning tasvir tekisligida joylashtiriladi.

Elektron mikroskop 100 keVda ishlashligi sababli yuqori ajratma olish qobiliyatiga (aniqlash imkoniyatiga) hamda kattalashtirishga ega.

Ishni bajarilish tartibi

Elektron mikroskopning ishi kolonna ichidagi vakuumni 10^{-4} – 10^{-5} torr gacha so'rib olish bilan boshlanadi. Elektron to'p ulanadi va elektron oqimning yustirovkasi linzalar tizimi orqali amalga oshiriladi.

Obyekt kiritiladi va namunani siljitib bizni qiziqtiradigan joyini topamiz, so`ngra suratga olib, kadrlarni bosmaga chiqaramiz.

3. O`simta hosil bo`lish jarayonlarini va kristall strukturasi nuqsonlarini kuzatish

Elektron mikroskop yordamida tekshirishlarning natijalari elektron oqimining namuna orqali o`tishidagi sochilish jarayonini ko`rib chiqish orqali olinadi. Soyalangan namuna va changlantirilgan plyonkaning qalinligiga bog`liq holda ekranda shunga to`g`ri keluvchi tasvir hosil qilinadi va ularni rasmga tushirib, keyingi tekshirishlarda foydalaniladi. Olingan tasvirlar bo`yicha:

- 1) o`simta hosil bo`lish jarayonining bosqichi to`g`risida;
- 2) sirt bo`yicha orolchalarning o`lchamlari va taqsimlanish zichligi to`g`risida;
- 3) o`simta hosil bo`lish jarayoni uchun u yoki bu muhitning ustunligi to`g`risida;
- 4) kristall strukturadagi nuqsonlar to`g`risida;
- 5) sirt bo`yicha orolchalarning joylashish va sirtni egallash (yopish) darajasi to`g`risida xulosa qilish mumkin,

Bulardan tashqari replika usuli bilan yana orolcha balandligi haqida ham fikr yuritish mumkin.

4. Gistogrammani qurish va natijalar tahlili

Elektron mikroskopda tekshirilayotgan, plyonkada bo`layotgan jarayonlarning aniq tasviri gistogrammani qurish va uni o`rganish asosida namoyon bo`ladi.

Gistogramma qurish uchun quyidagilar kerak:

1. Orolchalarning umumiy sonini bilish, har bir orolchaning yuzini va shu yuzaga ega bo`lgan orolchalar soni, ularni o`sishi va kamayishi bo`yicha yozish kerak.

2. Orolchalar haqiqiy yuzalarining logarifmini hisoblash.

3. Diapazonlar va har bir diapazondagi yuzalar sonini tanlash quyidagi formula bo`yicha hisoblanadi:

$$A = (S_{\max} - S_{\min}) / n,$$

bu yerda A - yuza intervali, $S_{\max}$ - orolcha yuzasining maksimal qiymati, $S_{\min}$ - orolcha yuzasining minimal qiymati, n - diapazon soni.

4. 1-diapazonning minimal yuzasiga A-yuza intervalini qo`shib, shu diapazonning maksimal yuzasini hosil qilamiz va u o`z navbatida 2-diapazonning minimal yuzasini beradi. Bu operatsiyani davom ettirib, har bir diapazon uchun minimal va maksimal yuza qiymatlarini hosil qilamiz.

5. Ordinata o`qiga berilgan diapazonda orolchalar sonini, albatta o`qqa esa o`sha diapazonga to`g`ri keladigan yuza logarifmini qo`yib gistogrammani quramiz.

Ma`lumotlarni hisoblash uchun diapazonlar sonini o`zgartirib, namuna sirtida orolchalar joylashishning aniq va to`g`riroq ko`rinishini olish mumkin.

Gistogramma sikllari (cho`qqilari) bo`yicha prioritet yuza haqida fikr yuritish mumkin. Gistogrammani chapga yoki o`ngga siljitish orqali nafaqat orolcha o`lchami, balki o`simta hosil bo`lish bosqichi haqida ma`lumot olish mumkin.

Sinov savollari

1. Replika usulini tushuntirib bering.
2. Replika usuliga qanday talablar qo`yiladi?
3. Replika olish uchun qanday materiallar qo`llaniladi?
4. Bir pog`onali replika usulini tushuntirib bering.
5. Ikki pog`onali replika usulini tushuntirib bering.
6. Replikani ajratish usullarini aytib bering.
7. Replikani soyalash nima uchun kerak bo`ladi?
8. Elektron mikroskopning tuzilishini aytib bering.
9. Gistogrammalar qanday quriladi?

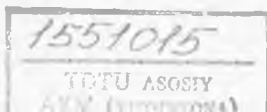
7 - TAJRIBA ISHI

QATTIQ JISM SIRTINI KICHIK ENERGIYALI IONLAR BILAN IMPLANTATSIYA QILISH YORDAMIDA YUPQA PLYONKALAR OLISH

Ishdan maqsad: Har xil dozalarda ion implantatsiya usulida yupqa plyonka olish jarayoni bilan tanishish va jarayonning optimal rejimini aniqlash.

Nazariy qism

Hozirgi paytda elektron asbobsozlik, mikroelektronika va elektron texnika sanoatlarida, yarimo`tkazgichli asboblarda, IMS va qurilmalar yaratishda (p-n o`tishlar, omik kontaktlar tayyorlashda, diffuzion baryerlar hosil qilishda va hokazolarda) yupqa plyonkali materiallarning ahamiyati borgan sari oshib bormoqda. Bu materiallar va plyonkalar yuqori sifatli, chidamli, uzoq vaqt fizik va kimyoviy xossalarni har xil ta`sirlar (mexanik, optik, radiatsion va hokazolar) natijasida o`zgartirmay saqlab qoladigan bo`lishlari kerak. So`nggi yillarda ma`lum parametrga ega bo`lgan yupqa qatlamli modda olish



maqsadida kichik energiyali ($E_0=0,5\div 5$ keV) ionli implantatsiya usulidan foydalanish juda yaxshi natijalar bermoqda. Kichik energiyali ionlar bilan implantatsiya qilish yordamida qattiq jism sirtiga kiritilayotgan ionlarning miqdoriga qarab hosil qilinayotgan plyonkaning fizik xossalarini boshqarish mumkin.

Qo'yilgan maqsadga muvofiq qattiq jism sirtiga kerakli miqdorda ionlarni kiritib zarur bo'lgan fizik parametrlarga (elektr o'tkazuvchanligi yuqori, tuzilishdagi nuqsonlar ancha kam bo'lgan, ikkilamchi elektronlar emissiyasi katta va hokazolar) ega bo'lgan plyonkalar olish mumkin.

Ionli legirlash birinchi marta p-n o'tishni tayyorlash uchun amerikalik olim Shokli tomonidan 1954-yilda qo'llanilgan. Ion implantatsiya usulida kirishmalarning musbat zaryadli ionlari ion nurli tezlatkichda yuqori tezlikkacha tezlashtirilib, kristall sirtiga bombardimon qilinib kiritiladi. Kristall panjarasiga kiritilgan kirishma ioni uni legirlaydi va shu vaqtning o'zida radiatsion buzilishlar ham hosil qiladi. Kiritilgan ionlar konsentratsiyasining taqsimoti Gauss egri chizig'i bilan ifodalanadi va uning asosiy parametri tezlangan ionlarning yugurish yo'li hisoblanadi. Kichik dozali nurlanishda hosil bo'ladigan radiatsiyali buzilishlar yarimo'tkazgichning kristall strukturasi buzmaydi, biroq kirishma atomlarining katta dozasi bilan nurlanganda kristall amorflanadi. Mana shu buzilishlarni yo'qotish va kiritilgan kirishma atomlarini aktivlash uchun kristall qizdiriladi.

Ion implantatsiya usuli kiritish (zagonka) bosqichi texnologiyasida kirishma atomlarining aniq o'lgan miqdorini kiritishda keng qo'llanilmoqda. Bular esa kirishma profilini shakllantirish uchun o'tkaziladigan keyingi diffuzion tarqatish (razgonka) bosqichida kirishma manbai bo'lib xizmat qiladi. Bundan tashqari bipolyar tranzistorlarda yupqa baza sohasini hosil qilish, MDP - tranzistorlarida bo'sag'a kuchlanishini boshqarish va boshqa maqsadlar uchun implantatsiyadan foydalaniladi.

Ion implantatsiyali strukturalarni nazorat qilish uchun kiritilgan atomlarning profil taqsimoti tekshiriladi va zaryad tashuvchilarning effektiv sirt konsentratsiyasi o'lchanadi.

Implantatsiya to'g'risida fizik tushunchalar. Ion implantatsiya usulining mohiyati energiyalari 10 keV dan 1 MeV gacha bo'lgan tezlangan ionlarning nurli oqimi bilan qattiq jismlarning xossalari va strukturalarini o'zgartirish maqsadida ularni bombardimon qilishdir.

Implantatsiya jarayonidagi asosiy hodisalar. Tezlangan ionlar

atom yadrosidagi musbat zaryadlarning itaruvchi kuchlari yengil kristall panjaraga kirib boradi. Bunda ionlarning kirish chuqurligi ularning energiyasi oshib borishi bilan ortib boradi. Yengil ionlar og'ir ionlarga qaraganda chuqurroqqa kiradi, biroq og'ir ionlarning harakat trayektoriyalari to'g'ri chiziqqa yaqinroqdir. Ionlarning implantatsiyasi davomida radiatsiyali nuqsonlar yig'ilib boradi. Kiritilgan ionlarning ko'pchiligi tugun oralig'ida joylashadi va elektr jihatdan noaktiv hisoblanadi. Ularni tugunga o'tqazish, ya'ni aktivlash uchun yarimo'tkazgichlar qizdiriladi (otjig). Qizdirish jarayoni davomida radiatsiyali nuqsonlar parchalanadi va kiritilgan kirishmalar vakant tugunlarga joylashadi, buning natijasida o'tkazuvchanligi p- yoki n-turli bo'lgan qatlam hosil bo'ladi.

Ion implantatsiya rejimlari. Ion implantatsiya rejimlarini aniqlashdagi asosiy parametrlar *tezlangan ionlarning energiyasi* va *nurlanish dozasi* hisoblanadi. Zaryadi q (Kl) bo'lgan ion potentsiallar farqi U (V) ta'sirida E (J) energiyaga ega bo'ladi:

$$E = qU \quad (7.1)$$

Ainalda tezlangan ionlarning energiyasi elektron-volt (eV) yoki kiloelektron-voltlarda ifodalanadi (keV). Agar ionlashish darajasi $n = 1, 2, 3$ elektron bo'lsa, ionning zaryadi 1 dan $3e$ gacha o'zgaradi. Umumiy holda

$$q = ne \quad (7.2)$$

Ionlashish darajasini belgilash uchun «+» simvolidan foydalaniladi. Masalan $^{31}\text{R}^+$, $^{31}\text{R}^{++}$, $^{31}\text{R}^{+++}$ kabi. Bu yerda 31 soni fosfor ionining atom massasini ko'rsatadi.

Nurlanish dozasi deganda berilgan vaqt ichida birlik yuzani bombardimon qilayotgan zarrachalar miqdori tushuniladi. Nurlanish dozasi Q (Kl/m²) ion tokining zichligi j (A/m²) va nurlanish vaqti t (s) bilan aniqlanadi:

$$Q = jt \quad (7.3)$$

Dozani birlik sirtga kiritilgan zarrachalar miqdori (ion/m²) orqali ifodalash uchun Q ning kattaligi bitta ionning zaryadiga bo'linadi:

$$N = Q/q = jt / (en) \quad (7.4)$$

Elektronning zaryadi $e=1,6 \cdot 10^{-19}$ Kl ekanligini e'tiborga olsak, Q ning o'lchamlari mkKl/sm² bo'lsa, nurlanish dozasi (ion/sm²):

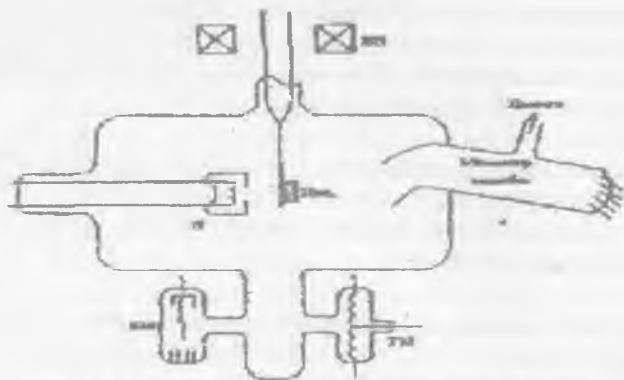
$$N = 6,25 \cdot 10^{12} Q/n \quad (7.5)$$

Ion implantatsiya usuli planar texnologiyada asosiy hisoblanib, u ionlarning dozali miqdori ko'rinishidagi kirishmalar kiritish

bosqichini diffuziyali tarqatish bosqichi bilan birga o'tkazish imkoniyatini beradi. Seriyali ishlab chiqarishda ion implantatsiya usulining foydalanilishi asoslanadigan asosiy ustunligi shundaki, plastina sirtiga kiritilayotgan kirishma miqdorini aniq nazorat qilish mumkinligi va sirtning yuqori darajada bir jinsli legirlanishidir.

Tajriba qurilmasi

Qattiq jism sirtini kichik energiyali ionlar bilan implantatsiya qilishda tajribaviy qurilmaning ichida qolgan turli xil gaz atomlari muhim rol o'ynaydi. Hosil qilinadigan yupqa qatlam har tomonlama mukammal bo'lishi uchun tajribaviy qurilma ichidagi bosim juda past, ya'ni yuqori vakuum hosil qilingan bo'lishi kerak (7.1-rasm).



7.1-rasm. Tajriba qurilmasining sxemasi

Buning sababi shuki, qattiq jism sirtiga kichik energiyali ionlar implantatsiya qilinayotganda qolgan gaz atomlari o'tirib qolishi, ya'ni adsorbsiyalanishi mumkin. Bu esa hosil qilinayotgan yupqa plyonkaning tuzilishiga, qolaversa, fizik-kimyoviy xossalariining o'zgarishiga olib keladi. Ishchi kamerada ($p=10^{-7}$ mm. sim. ust.) yuqori vakuum hosil qilish uchun moysiz so'rish tizimidan foydalaniladi. Yuqori vakuum hosil qilish differensial so'rish bosqichida olib boriladi. So'rish dastlab seolit nasos bilan, so'ngra NMD-0,4 magnit razryadli nasos yordamida amalga oshiriladi. Qurilmaning hamma qismlari gaz gorelkasi bilan bir necha soat davomida qizdirilgandan so'ng NMD-0,4 nasosi yordamida vakuum $p=10^{-7}$ mm. sim. ust. ga yetkaziladi. Ishchi kameradaga past vakuum TM-termoparali manometr bilan, yuqori vakuum esa IM- ionizatsiya manometri yordamida o'lchab boriladi.

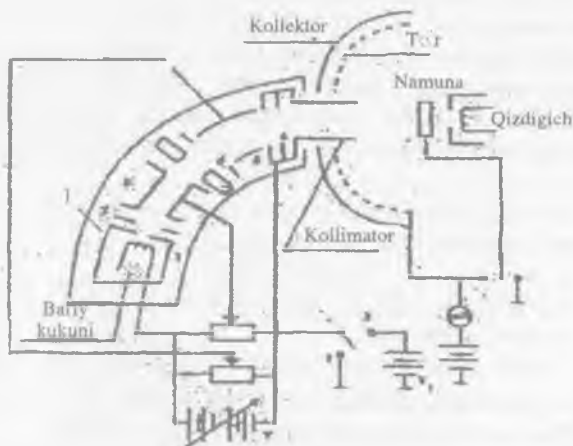
Ionlar manbai va uning tuzilishi

Qo'llanish maqsadiga bog'liq holda quyidagi ionlar manbai turlarining biridan foydalaniladi: cho'g'lanuvchi katodli manba, yuqori chastotali manba, Penning razryadli manbai, duaplazmatron plazma generatori - plazma oqimi olinadigan razryadli qurilma, changlashdan foydalanadigan manba va atomlarning sirti ionlashishiga asoslangan manba.

Bu tajriba ishida ishqoriy va ishqoriy-yer metallarining bir zaryadli ionlarini hosil qilish uchun atomlarning sirtiy ionlashishiga asoslangan manbadan foydalaniladi.

Quyida ionlar dastasining qanday hosil bo'lishini ko'rib chiqilgan (7.2 - rasm).

Ionli to'pning deyarli barcha qismlari tantal materialidan tayyorlanadi. 1-tantal quticha ichiga ishqoriy va ishqoriy-yer moddalarning istalgan turini joylashtirish mumkin. Bu tajribada quticha ichiga joylashtirilgan bariy moddasining kukunlaridan foydalanilgan. Shu bilan bir qatorda cho'g'lanuvchi volframli spiral ham o'rnatilgan, Agar shu cho'g'lanuvchan spiraldan ma'lum bir



7.2-rasm. Ionli to'p konstruksiyasining sxemasi

qiymatli tok o'tkazilsa, u cho'g'lanadi va bariy moddasining bug'lari hosil bo'ladi. Bu bug'larning bir qismi cho'g'langan volfram spiraliga tushadi va ionlashadi, ya'ni bariy moddasining musbat ionlari hosil bo'ladi hamda ionlashgan sohadan 2-tortuvchi elektrod bilan tortib olinadi. Tortib olingan ionlar endi 3-elektrostatik linzalar yordamida

fokuslanadi va 4-tirqishdan (diafragmadan) o'tib, 5-ionlarni zaryadi bo'yicha saralovchi separator elektrodiga tushadi. Keyin esa 6-ionlarni tezlashtiruvchi elektrodlar va kollimator orqali o'tib namuna sirtiga tushadi. Energiyalari $E=1\text{keV}$ ga teng ionlarni implantatsiya qilish uchun V_1 kuchlanishli manbadan foydalaniladi (K_2 kalit 1-holatda bo'ladi). Agar energiylari $E_0>1\text{ keV}$ ionlar bilan implantatsiya qilish kerak bo'lsa, ionli to'pning oxirgi elektrodi va namuna orasiga V_2 yuqori kuchlanish manbai ulanadi (K_1 kalit 2-holatda bo'ladi). Ionlarning energiyasi V_1 va V_2 manbalar hosil qilgan energiylar yig'indisi bilan aniqlanadi. Ionlar dastasining toki volframli spiralning harorati bilan boshqariladi.

Ishni bajarish tartibi

(O'qituvchi bilan birgalikda bajariladi)

1. Yuqori vakuum ($p=10^{-7}$ mm.sim.ust.) sharoitida kremniy kristali qizdiriladi. Qizdirish sekin-asta ko'tarish yo'li bilan 1000°C ga olib boriladi. Keyin 1100°C gacha impulsli qizdiriladi.

2. Tuz solingan idish qizdiriladi. Yuqori vakuum olingandan so'ng ionlar (bariy yoki natriy) bilan kremniy implantatsiya qilina boshlaydi, Ionlar energiyasi $E_0=0,5\text{ keV}$ qilib olinadi. Doza esa birlamchi tokning kattaligi bilan aniqlanadi. Bu tokni o'lchash uchun kollektor va nishon mikroampermetr orqali yerga ulanadi. Doza quyidagi formuladan [ion/sm^3 larda] hisoblanadi: birlik yuzaga bir sekunda tushayotgan ionlar soni (doza) N quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$N=i/eS,$$

bu yerda S - ion tushayotgan yuza bo'lib, u $S=0,06\text{ sm}^2$ ga teng. Istalgan vaqtda tushayotgan ionlar soni N :

$$N' = Nt = j/eSt;$$

3. Tok kuchini 10^{-6} A qilib olinadi va $t = 1, 10, 30, 45, 60$ min. larda dozalar aniqlanadi.

4. To'rt zondli usul yordamida har bir holat uchun qatlamning solishtirma qarshiligi ρ o'lchab boriladi.

5. Olingan natijalar quyidagi jadvalga yoziladi.

7.1-jadval

No	t, minut	N, doza, cm^2	$N=Nt$ $\text{cm}^2\cdot\text{c}$	I_1 , A	I_2 , A	$K=I_2/I_1$	ρ , $\text{Om}\cdot\text{sm}$
1							
2							
3							
4							

6. $\rho = f(N)$ grafigi quriladi.

Sinov savollari

1. Ion implantatsiya usulining mohiyatini tushuntirib bering.
2. Ionning o'rtacha to'la yugurishi va uning o'rtacha kvadratik og'ishi deb nimaga aytiladi ?
3. Ion-nurli tezlatgichning ishlash prinsipini aytib bering.
4. Tezlashgan ion energiyasi va nurlanish dozasi" deb nimaga aytiladi?
5. Nima uchun ion implantatsiyadan keyin kuydirish jarayoni o'tkaziladi?

8 - TAJRIBA ISHI

KREMNIY OKSIDI YUPQA QATLAMLI MATERIALLARINI HOSIL QILISH TEXNOLOGIYASINI O'RGANISH

Ishdan maqsad: kremniy monooksidini bug'lantirishga asoslangan himoyalovchi kremniy oksidi plyonkalarini hosil qilish texnologiyasini o'rganish.

Nazariy qism

Planar texnologiyada yarimo'tkazgichli asboblarda va integral mikroshemalar tayyorlashda himoyalovchi dielektrik yupqa qatlamlar muhim ahamiyatga ega. Ular donor va akseptor kirishmalarini lokal diffuziya o'tkazish, mikroshemalarning bir-biridan izolyatsiyalangan passiv va aktiv elementlarini shakllantirish, shuningdek p-n o'tishlarni tashqi ta'sirlardan himoyalash imkoniyatlarini beradi.

Himoyalovchi dielektrik plyonkalarni hosil qilish uchun boshlang'ich materiallar sifatida kvars, kremniy monooksidi va dioksidi, kremniy nitridi, alyuminiy oksidi va nitridi, bor nitridi va hokazolar ishlatilishi mumkin.

Himoyalovchi kremniy oksidi yupqa qatlamlarini hosil qilish uchun kremniy monooksidini bug'lantirishga asoslangan ikkita usul qo'llaniladi. Birinchi usulda texnik kukunsimon kremniy monooksidi ishlatiladi. Ikkinchi usulda esa kremniyli elektrod kislorod atmosferasida qizdiriladi. Bunda uning sirti kremniyga nisbatan bug'larining bosimi yuqori bo'lgan va oson bug'lanadigan kremniy monooksidi bilan qoplanadi.

Yarimo'tkazgichli taglikka changlatish yo'li bilan hosil qilinadigan oksidlar Si-SiO-SiO_2 kompleksi ko'rinishida bo'ladi. Bir jinsli himoyalovchi oksid qatlamini hosil qilish uchun kremniy mono-

oksidi kukunidan bug`lantirish manbai sifatida foydalanilganda eng e`tibor beriladigan narsa bu kremniy monooksidi kukuni joylashtiriladigan maxsus likopcha (tigel)ning konstruksiyasi hisoblanadi. Bug`lanish tezligi likopchaning geometrik shakliga, monooksid kukunining haroratiga, bosimiga, shuningdek bir jinsliligiga bog`liq bo`ladi. Ma`lum bir turdagi manbalardan foydalanilganda bug`lanish tezligi likopchani qizdiradigan elektr quvvatini o`zgartirish bilan boshqariladi. Bu usulda boshlang`ich plastinaga himoyalovchi qatlamning adgeziyasini yaxshi bo`lishini ta`minlash uchun kremniy plastinalari 300°C va undan yuqoriroqqacha qizdiriladi. Agar changlatish kichik tezlikda, lekin kislorodning yuqori parsial bosimida amalga oshirilsa, bu holda yupqa qatlam SiO<sub>2</sub> kabi xususiyatlarga ega bo`ladi. O`tqazish tezligining katta qiymatlarida yoki kislorodning nisbatan kichikroq parsial bosimlarida o`tqazilgan yupqa qatlamning optik xarakteristikalari SiO plyonkalariga xos xususiyatlarga o`xshash bo`ladi.

SiO₂ plyonkasi xususiyatlariga ega bo`lgan himoyalovchi yupqa qatlamlarni odatda manbaning 1300-1400 °C haroratida va umumiy bosimi 6,5·10<sup>-4</sup> Pa dan kam bo`lmagan holda hosil qilinadi.

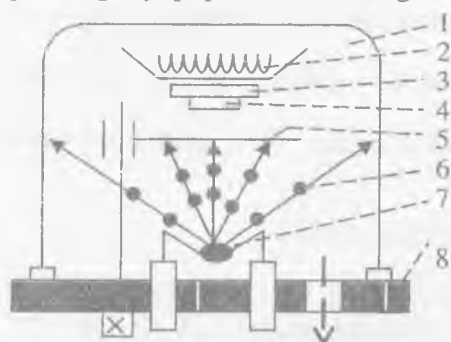
Oksid plyonkalarini vakuumda changlatish usuli bilan olish uchun manba sifatida kremniy qo`llanilishi mumkin. Bunda kremniyning sirt-dagi ro`y beradigan reaksiya asosiy rol o`ynaydi. Sirt yaqinidagi kislorodning harorati va parsial bosimi kremniy sirtiga kislorod adsorbsiyasi va SiO<sub>2</sub> ning bug`lanish tezliklarini aniqlaydi. Kremniy 700-1000 °C haroratgacha qizdiriladi. Kislorodning parsial bosimi shunday bo`lishi kerakki, bunda kremniyli manba sirtida Si+O→SiO reaksiyasi ta`minlanishi lozim. Bu usul bilan boshlang`ich yarimo`tkazgichli plastinada 0,1 mkm qalinlikdagi yupqa qatlamni 900°C haroratda va 1,3·10⁻⁴ Pa bosimda 30 daqiqa ichida olish mumkin. Plastinalar joylashtirilgan taglik qizdirilganda oksid bug`larining adsorbsiyasi va ularning yarim o`tkazgichli plastinalarga adgeziyasi yaxshilanadi. O`tqazilgan oksid plyonkasining bug`lanib ketmasligi uchun plastinalarining harorati manba haroratidan 100-200 °C pastroq bo`lishi lozim.

Tajriba ishini bajarish tartibi

Kremniy oksidi plyonkalarini termik bug`lantirish bilan hosil qilish jarayoni maxsus bosimli vakuum kameralarida o`tkaziladi. Buning uchun VUP-5 vakuum qurilmasidan foydalaniladi. Jarayon o`tkaziladigan qurulmaning sxemasi 8.1-rasmda keltirilgan.

Jarayon vakuum kamerasini yuklash bilan boshlanadi: bug`lantiriluvchi material tigellarga joylashtiriladi, tagliklar taglik ushlagichlarga, niqoblar niqob ushlagichlarga o`rnatiladi. Undan keyin

kamera germetik yopilib, undagi havoni soʻrish boshlanadi. Berkitgichning yopiq holatida tagliklarni belgilangan haroratgacha, bugʻlatgichlar esa bugʻlanish



8.1-rasm. Termovakuum changlatish jarayonining sxemasi: 1-vakuum kamera, 2-taglik qizdirgichi, 3-taglik ushlagichi, 4-taglik, 5-berkitgich (zaslonka), 6-bugʻlanuvchi moddaning zarralari, 7-kremniy monooksidi boʻlagi soling bugʻlantirgich; 8-tayanch plita

haroratigacha qizdiriladi. Kamerasidan havoni soʻrish chegaraviy vakuum darajasigacha amalga oshiriladi. Bundan keyin berkitgich ochiladi va changlantirish boshlanadi. Belgilangan qalinlikdagi plyonka hosil qilinganidan keyin berkitgichni yopish bilan changlatish jarayoni toʻxtatiladi. Tagliklar sovitiladi va keyin sekin-asta kameraga havo kiritiladi, soʻng tagliklar yechib olinadi.

Tajriba ishi quyidagi ketma-ketliklar asosida bajariladi:

1. VUP-5 qurilmasining ishlash prinsipi va tuzilishini oʻrganish.
 2. Yoʻriqnoma boʻyicha VUP-5 ni ulash va yuqori vakuum olish.
 3. Vakuum kamerasining qalpogʻini ochish va bugʻlantirgich klemmlarini ulash.
 4. Bugʻlantirgich tigeligga kerakli miqdordagi bugʻlanuvchi materialni (kremniy monooksidi) qoʻyish.
 5. Ishchi kamera qalpogʻini yopish va yuqori vakuum olish.
 6. Kremniy monooksidini bugʻlantirish uchun bugʻlatgichni ulash.
 7. Bugʻlatgichni va taglikning qizdirgichini oʻchirish.
 8. Taglik sovganidan keyin ishchi kameraga havo kiritish, qalpoqni ochish va kremniy oksidining yupqa plyonkasi oʻtqazilgan taglikni olish.
 9. Yupqa qatlamning rangiga qarab uning qalinligini aniqlash.
- 4-9 punktlarni bugʻlantirishning har xil vaqtlari uchun takrorlanadi va olingan natijalar quyidagi jadvalga kiritiladi.

8.1-jadval

No	Vaqt (min)	Plyonaning rangi	Plyonka qalinligi (mkm)	Eslatma
1				
2				
3				

Sinov savollari

1. Kremniy oksidli plyonkalarining qo'llanilish sohalarini ayting.
2. Kremniy oksidi plyonkalarini olishning texnologik jarayonini tushintiring.
3. Kremniy oksidi plyonkasining qalinligi qanday usul bilan aniqlanadi?
4. Kremniy oksidi plyonkalarining sifati qanday mezonlar bilan aniqlanadi?

9 - TAJRIBA ISHI

MATERIALLAR VA MAHSULOTLAR SIRTLARINING G`ADIR-BUDURLIGINI O`LCHASH, NAZORAT VA QAYD QILISH USULLARI VA APPARATURALARINI O`RGANISH

Ishdan maqsad: Materiallar va mahsulotlar sirtlarining g`adir-budurligini o`lchash, nazorat va qayd qilishning zamonaviy usullari va apparaturalarini o`rganish.

Nazariy qism

G`adir-budurli sirtlar eng keng tarqalgan bo`lib, bizning planetaning sirti ham g`adir-budur hisoblanadi. Bunda g`adir-budurlikning o`lchamlari changning o`lchamlaridan tortib tepaliklarning o`lchamlarigacha davom etadi. Bularning balandliklari mikronlar, o`nlab metrlar va kilometrlar bilan o`lchanadi.

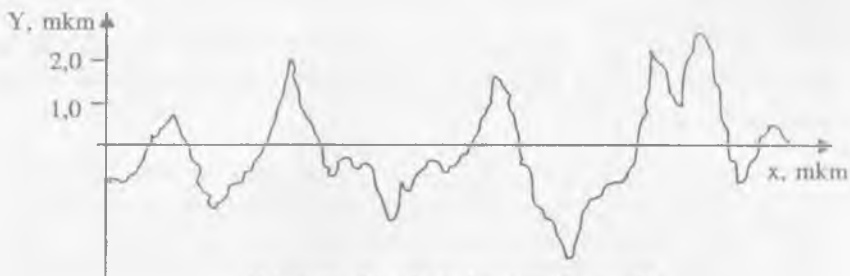
Sirtlarning g`adir-budurligi ekspluatatsiya xarakteristikalarida eng asosiylardan hisoblanadi, chunki bu bilan sirtning mikroqattqlik, mustahkamlik, korroziyaga chidamlilik, yeyilishga turg'unlik, ishqalanish, aero- va gidrodinamik qarshiliklari kabi xossalari bog`liqdir.

Ishlab chiqarish jarayonlarida hosil qilinadigan sirtlardagi notekislikning uch turi farqlanadi: to`g`ri geometrik shakl o`qining og`ishi, to`lqinsimonlik va g`adir-budurlik.

GOST 2789-73 bo`yicha sirtning g`adir-budurligi «asos uzunligidagi nisbatan kichik qadamli sirt notekisliklarning majmuasi» deb ta`rif berilgan. G`adir-budur sirt sifat bo`yicha profilli tasniflanadi. Profilli tasniflash profilograf yoki soyali usul yordamida amalga oshiriladi.

9.1-rasmda M7 jilvirlagich bilan ishlov berilgandan so`ng alyuminiyning yupqa qatlami bilan qoplangan shisha sirti qismining

profili tasvirlangan.



9.1-rasm. G'adir-budur sirtning profili

G'adir-budur sirtni sifatli tasniflash uchun profilli ishlov berishda boshlang'ich hisob chizig'i sifatida «o`rta chiziq» deb ataladigan chiziq qabul qilinadi. Bu chiziq profilni chiziqlarning ikki tomonidagi shakllarning yuzalarini bir-biriga teng qilib bo`ladi. Asosiy parametr sifatida profilning o`rta chizig`idan og`ishning o`rta arifmetigi – R_a qabul qilingan. Bu kattalikning matematik ko`rinishi quyidagicha ifodalanadi

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Y| dl \quad , \quad (9.1)$$

bu yerda l –asos uzunligi bo`lib, mana shu uzunlik bo`yicha o`lchov natijalari yozib borilgan.

Har xil parametrli g'adir-budur sirtlarning profilini yozishda har xil asos uzunliklaridan foydalaniladi. Odatda bularning uzunliklari bir necha millimetrlardan oshmaydi.

GOST 2789—73 bo`yicha ikkinchi parametr sifatida  $R_z$  dan foydalaniladi. Bu parametr asos uzunligi chegarasida profildagi beshta eng baland va beshta eng past nuqtalarning o`rtacha ayirmasini ifodalaydi

$$R_z = \frac{(h_1 + h_2 + h_3 + h_4 + h_5) - (h_6 + h_7 + h_8 + h_9 + h_{10})}{5} \quad (9.2)$$

Bu yerda h_i simvollar bilan o`rta chiziqqa parallel bo`lgan biror-bir chiziqdan berilgan nuqtalargacha bo`lgan balandliklar belgilangan.

G'adir-budur sirtning xossalari notekisliklarning balandliklaridan tashqari notekisliklarning orasidagi masofalar bilan ham aniqlanadi. Shu sababli GOST bo`yicha yana ikki parametr – profil notekisliklarining o`rtacha qadami S_m hamda profil notekisliklari cho`qqilarining o`rtacha qadami S ko`zda tutilgan. Bu

parametrlar sirt bo'yicha notekisliklarning qanchalik zich joylashganligi va ularning qiyaliklari qanday ekanligi to'g'risida tushunchalar beradi.

1975-yilgacha mavjud bo'lgan GOST 2789-59 bo'yicha R_a va R_z parametrlar birga keltirilgan hamda ular orasida quyidagi nisbat mavjud bo'lgan:

$$R_a / R_z = 4 \div 5. \quad (9.3)$$

GOST 2789-73 bo'yicha bu parametrlar alohida keltiriladi. Bunga sabab, yuqoridagi (9.3) ifoda aniq bo'lmasdan materialga va unga ishlov berilgan texnologik jarayonga bog'liq ravishda o'zgariishi mumkinligidir. Ikkala parametr ham nisbatan kichik baza uzunligida aniqlanib, ularning o'rtacha qiymati kichik uchastkaga taalluqli bo'ladi. Sirtning tavsiflash uchun esa yuzaning bir nechta uchastkasida o'lchov o'tkaziladi va natijalarning o'rtacha qiymati topiladi.

Hozirgi vaqtda profil o'rta chizig'idan o'rtacha kvadratik og'ishi deb ataladigan parametrdan foydalaniladi va σ simvoli bilan belgilanadi. Bu parametr va R_a parametr bilan quyidagicha bog'langan:

$$R_a = \sigma \sqrt{\frac{2}{\pi}} \approx 0,8\sigma. \quad (9.4)$$

Profil parametrlarini o'lchash uchun har xil usullar ishlab chiqilgan. Bu usullar ikki guruhga bo'linadi – kontaktli va kontaktisiz. Birinchi guruhga sirtga nina qadab o'lchashga asoslangan mexanik usullar kiradi. Ikkinchi guruhga mikronotekisliklar balandligi va qadam o'lchamlarini baholash imkonini beradigan optik usullar kiradi.

Profil parametrlarini o'lchashning optik usullari ikkilangan mikroskop MIS 11 va mikrointerferometr MII 4 yordamida amalga oshiriladi. Agar sirtning g'adir-budurliги bo'ylama shtrixlar tizimidan iborat bo'lsa, unda optik asboblarning yordamida alohida balandlik va qadamlarning kerakli aniq qiymatlarini bilish mumkin. Biroq mikronotekisliklari ixtiyoriy taqsimlangan sirtlarni tekshirishda ulardan foydalanish ancha qiyinchilik tug'diradi, chunki bunday asboblarning yordamida kuzatilayotgan tasvir o'ta murakab ko'rinishga ega bo'ladi.

Yorug'lik nurlarining interferensiyasi hodisasidan foydalanishga asoslangan ham kontakt, va ham optik usullar lokal usullar hisoblanadi, chunki tekshirishda olingan axborot sirtning juda kichik qismigagina tegishli bo'ladi. Sirt parametrlari va yorug'likning undan qaytgan miqdori orasidagi bog'lanishga asoslangan reflektometr usulini integral usul deb atash mumkin. Bu usulda

qaytgan yorug'lik nurlari sirtning ancha katta qismidan asbobot beradi va bunda aniqlanadigan parametr fizik o'rtacha qiymatlangan bo'ladi. Bu usul nisbiy bo'lib, g'adir-budurlik parametrlari boshqa usullar bilan o'lgangan namunalar bo'yicha graduировkani talab qiladi. Bunga o'xshash nisbiy usullar bir xil turdagi obyektlarning g'adir-budurlik parametrlarini baholashda qo'llaniladi.

GOST 2789-73 bo'yicha R_s ning qiymatlari 1000 dan 0,025 mkm oralig'ida bo'ladi. Biroq 0,025 mkm qiymatli sirt parametrlari bundan ko'ra ancha kichik bo'lgan sirtlar bilan ishlovchi zamonaviy optik asbobsozligiga qo'yiladigan talablardan kelib chiqilsa keraklida silliq hisoblanmaydi. Ishlab chiqarish sharoitida bunday sirtlarning parametrlarini aniqlaydigan usullar va asboblari mavjud emas. Ba'zi hollarda bunga o'xshash sirtlarning sifatini baholash uchun o'ziga xos xususiyatlarga ega bo'lgan elektron mikroskopdan foydalaniladi.

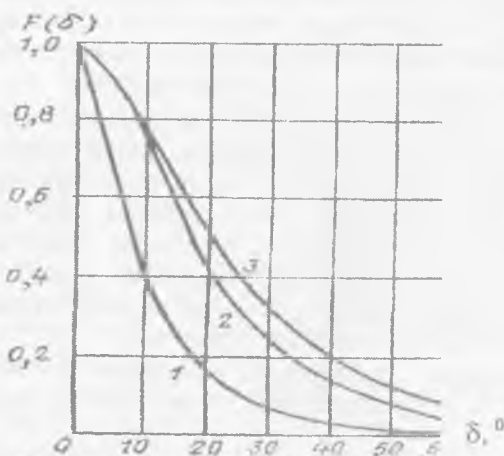
Keyingi vaqtda yuqori aniqlikka ega bo'lgan profilograf to'g'risida xabar qilindi. Bunday profilograf yordamida aniqlanadigan σ ning qiymati taxminan 0,2 mkm tashkil qiladi. Yozib olingan sirt g'adir-budurligining profili juda kerakli ko'rgazmali xossaga ega bo'lib, sirtning yozilgan tasnifi hisoblanadi. Keyinchalik bu tasnif kerakli parametrlarni olish uchun statistik qayta ishlanadi. Biroq bunday profilograf yordamida kristall panjara doimiysi o'lgamlari bo'yicha solishtiriladigan kattaliklarni o'lgash uchun keraklida yengil va sirt bilan yuqori sezgirlikka ega kontaktlanadigan qurilmagina talab qilinib qolmasdan, balki chetdan bo'ladigan vibratsiyalardan yaxshi himoya ham talab qilinadi.

Misol tariqasida 9.1-jadvalda $\varphi = 10^\circ$ da olingan uchta namuna uchun eksperimental natijalar keltirilgan: M10 abraziv kukuni bilan ishlov berilgan IKS-3 shisha; lak bo'yoqli qoplama namunasi va shisha taglikga tutatilgan qurum qatlami. Jadvalda keltirilgan taqsimot funksiyasining qiymatlari bir-biridan juda farq qiladi: shisha namunada taqsimot egri chizig'i eng keskin kamayadi, eng sekin kamayadigan taqsimot qurum qatlamiga tegishli bo'ladi, lak bo'yoqli qoplamada esa taqsimot oraliqda joylashadi.

Bu tajribalarda taqsimot funksiyasini aniqlashda o'rtacha to'lqin uzunligi 550 nm bo'lgan kvazimonoxromatik yorug'likdan foydalanildi.

Bur- chak δ , °	Tuzatish koeffitsienti $\eta = \cos\delta + \sin\delta \operatorname{tg}\psi$	IKS-3; M10		Lak bo'yoqli qoplama $F(\delta)$	Shishadagi qurum $F(\delta)$
		$\Delta F_0/\Delta F_0$	$\eta(F_0/\Delta F_0) = F(\delta)$		
-60	0,347	0,066	0,023	0,226	0,410
-50	0,508	0,082	0,042	0,348	0,563
-40	0,652	0,115	0,075	0,497	0,692
-30	0,778	0,189	0,147	0,647	0,795
-20	0,880	0,341	0,297	0,805	0,850
-10	0,955	0,660	0,630	0,938	0,920
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
10	1,015	0,650	0,655	0,940	0,925
20	1,000	0,316	0,316	0,806	0,870
30	0,954	0,152	0,145	0,643	0,778
40	0,880	0,082	0,072	0,505	0,685
50	0,778	0,053	0,042	0,359	0,562
60	0,653	0,034	0,023	0,228	0,412

9.2-rasmda IKS-3 shishaning taqsimot funksiyasi egri chiziqla-



9.2-rasm. Har xil abraziv kukunlar bilan ishlov berilgan IKS-3 shisha mikroqirralar qiyaligining taqsimot funksiyasi $F(\delta)$

ri kelitirilgan: 1-egri chiziq – M7 kukuni bilan ishlov berilgan; 2-egri chiziq – M28 kukuni bilan ishlov berilgan; 3-egri chiziq – M12 kukuni bilan ishlov berilgan. O'lchov burchak aniqligi $1,5^\circ$ atrofida bo'lgan goniospektrofotometr qurilma yordamida bajarilgan. Keltirilgan egri chiziqlar eksponenta bo'lib quyidagicha ifodalanadi:

$$F(\delta) = F(\delta_0)e^{-\mu\sigma}, \quad (9.5)$$

bu yerda δ_0 – eksponensial bogʻlanish boshlanadigan burchak (bu burchak uncha katta emas va 5° atrofida boʻladi). EkspONENTA daraja koʻrsatkichidagi oʻzgarmas koʻpaytma quyidagi qiymatlarga ega boʻladi:

IKS-3, M7 5,7

IKS-3, M28 3,47

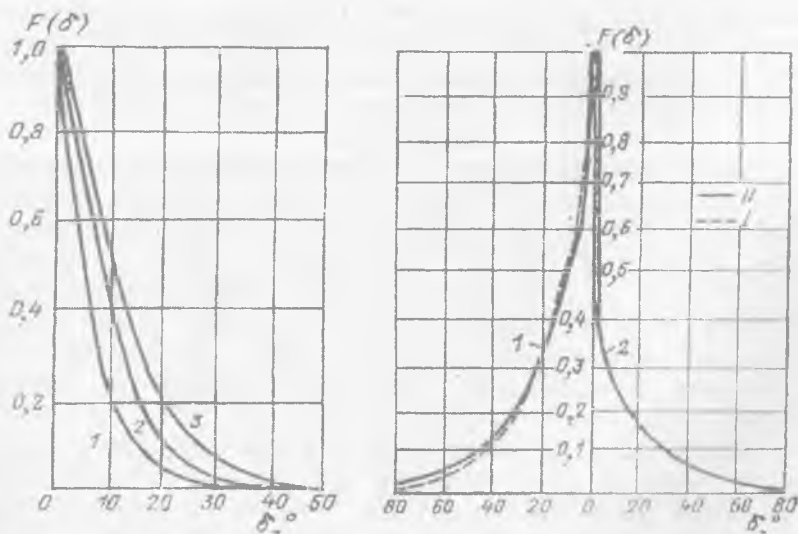
IKS-3, № 12 3,71

Burchakning $0 < \sigma < \sigma_0$ qiymatlarida ogʻish burchagi boʻyicha mikroqirralarning taqsimoti eksponensial qonunga boʻysunmaydi.

Har xil gʻadir-budurlikli metall plastinalardagi taqsimot funksiyasining egri chiziqlari 9.3-rasmda keltirilgan. Plastina sirtlari mahkamlangan abrazivli jilvirlovchi doira bilan ishlov berilib shakllanganligi sababli bu egri chiziqlar murakkab taqsimotlar koʻrinishida boʻladi. Bunday ishlov berishda profili quyida keltirilgan murakkab funksiyani realizatsiyalashdan iborat boʻlgan sirt hosil boʻladi:

$$\xi(x, u) = \xi_1(x, u) + \xi_2(x, U) \quad (9.6)$$

Bu funksiyalarning bittasi ixtiyoriy, ikkinchisi esa davriy funksiya hisoblanadi.



9.3-rasm. Jilvirlovchi doira bilan ishlov berilgan har xil gʻadir -budurlikli metall plastinalardagi mikroqirralar ogʻishining taqsimot funksiyalari:
1- $R=1.6$ mkm; 2- $R=3.2$ mkm; 3- $R=10$ mkm

Sinov savollari

1. GOST 2789-73 bo'yicha «sirtlarning g`adir-budurligi»ga ta'rif bering.
2. 9.1-rasmda keltirilgan sirt g`adir-budurligi profili qanday aniqlanadi?
3. GOST 2789-73 bo'yicha ikkinchi parametr qanday aniqlanadi?
4. R_a va R_z o'rtasidagi nisbatni tushuntiring.
5. Mikronotekisliklarning profilini o'lchashning asosiy optik usullarini tushuntirib bering.

10 - TAJRIBA ISHI

SHEHMDA QAYTA ISHLOV BERUVCHI OPTOELEKTRON TIZIMLI MIKROPROSESSOR ASOSIDA SIRTSLAR G`ADIR- BUDURLIKLARINING XARAKTERISTIKALARINI TEKSHIRISH

Ishdan maqsad: Har xil materiallar g`adir-budurligining parametrlarini nazorot va qayd qiluvchi MPLi optoelektron qurilmaning ishlash prinsipini va alohida uzellarini o'rganish, MPLi OEQ asosida sirt g`adir-budurligining xarakteristikalarini eksperimental tekshirish, SHEHMda dastur asosida eksperimental natijalarini qayta ishlash.

Nazariy qism

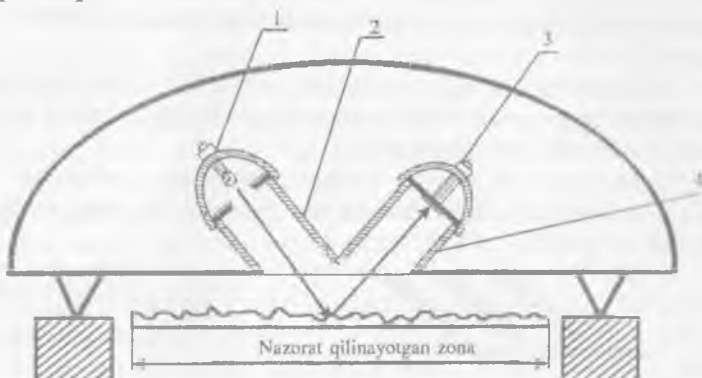
Sirtlar g`adir-budurligini o'lchashning shupli yoki kontaktli usuli eng tarqalgan usul bo'lishiga qaramasdan texnologik jarayonda materiallar sirtining g`adir-budurligini to'liq avtomat tarzda nazorot qilish uchun qo'llashda cheklangandir. Ishlash prinsipi tekshirilayotgan obyektning g`adir-budurli sirtini skanlashda hosil bo'ladigan ixtiyoriy signaldan foydali axborotni ajratib olishga asoslangan optik-elektron o'zgartkichdan foydalanish esa o'lchashning ishonchliligini, aniqlikligini oshirish va sirtning nazorotini to'liq avtomatlash imkoniyatini beradi.

Kompozitsion materiallar sirtining g`adir-budurligini o'lchash, nazorot qilish va qayd qilishning mikroprosessorli optoelektron tizimi sirtlar g`adir-budurligini nisbiy o'lchash va natijalarni ham asbob displeyida ham kompyuter displeyida akslantirish uchun mo'ljallangan (10.1-rasm).

Asbobning asosini aniq, optik tizim tashkil qiladi va u quydagilardan tashkil topadi:

- 1 – infraqizil nurlanish manbai;
- 2 – fokuslovchi o`rtasi bo`sh yorug`lik o`tkazgich;
- 3 – IK nurlanishni qabul qilgich;
- 4 – qabul qiluvchi g`ovak yorug`lik o`tkazgich.

Tekshirilayotgan sirtga diametri 0,5-0,7 mm bo`lgan yorug`lik fokuslanadi. Fokuslangan yorug`lik sirtidan qaytadi va 3 qabul qilgichga tushadi. Sirtning egriligi tushayotgan nurni har xil qaytargani natijasida qabul qilgichdagi signal xuddi sirt tomonidan modullangandek bo`ladi. Sirtning qanaqa turda ekanligiga (xira, yaltiroq, qoramtir, yorug`roq va shu kabilar) bog`liq holda nurning bir qismi material tomonidan yutiladi va natijada qabul qilgich kam nurni qabul qiladi.



10.1-rasm. Sirtning g`adir-budurligini nazorat qiluvchi optoelektron qurilma konstruksiyasining sxemasi

Mikronazoratchi avtomat tarzda sirtning turiga moslashib nurlanish kuchini o`zgartiradi. Mikronazoratchiga qo`yilidagan vazifa tekshirilayotgan sirtidan qaytgan signalning o`rtacha kattaligini aniqlashdan iborat. Nurlanish kuchi nurlanayotgan dioddan o`tayotgan tokning kuchi bilan o`zgartiriladi. Dioddagi tokning kattaligi tekshirilayotgan sirt tomonidan yutilayotgan nurlanishni ko`rsatadi. Bunda dioddagi tok qancha katta bo`lsa, nurlanish shuncha katta, ya`ni yutilish ham shuncha katta bo`ladi. Dioddagi tok qancha kichik bo`lsa, nurlanish ham kichik, ya`ni yutilish ham kichik bo`ladi. Shu sababli bu parametrdan materialning nurlanishni yutishini baholashda foydalanish mumkin.

Asbob sirtga sozlanishi kerak bo`lganligi uchun va bu sozlanishdan keyin signal ma`lum bir o`rtacha qiymatga ega bo`ladi

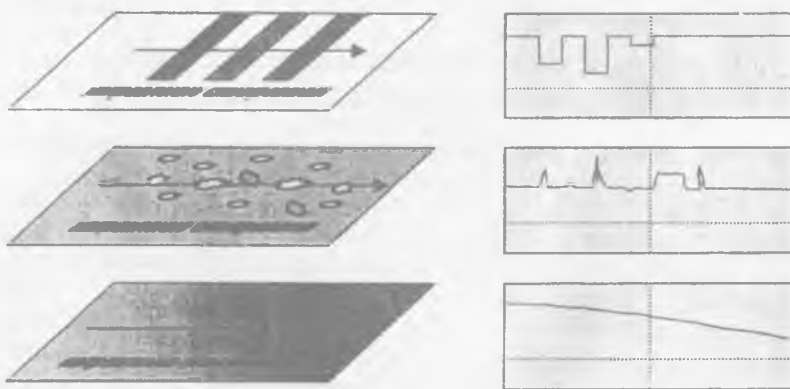
hamda material sirtidan deviatsiyalangan signal mana shu oʻrtacha kattalikka nisbatan kelib chiqadi.

Bir marta qisqa vaqt «Oʻlchash» tugmachasi bosilgandan soʻng asbob faqat diod tokini sozlaydi va 2-3 sekunddan keyin diod tokining qiymatini (I_d) va oʻlchangan signalning kattaligi (med)ni beradi. Sozlashda mikrokontroller signalning “MED” = 100 kattaligiga sozlanishga harakat qiladi. Bu taxminan, oʻlchash shkalasining yarimiga mos keladi. Oʻlchangan “MED”ning maksimal qiymati 255 toʻgʻri keladi va uni 100% deb qabul qilish mumkin. Mana shular I_d ning qiymati uchun ham taalluqlidir.

«Oʻlchash» tugmachasi bosib ushlab turilsa 3 sek. davomida optimal nurlanish sozlanadi. Bunda 3 sek. oʻtgandan soʻng asbobning displeyida asbobning holatini bildiruvchi «TUNIN» soʻzi akslanadi.

10.2-rasmda har xil rangda boʻyalgan bir jinsli sirtlarning bir necha skanlangan variantlari koʻrsatilgan. Birinchi holda uchta har xil rangli polosali sirt skanlanadi.

Kompyuter displeyida uchta rangning yutuvchi tashkil etuvchisi koʻrinib turibdi. Bunda har bir alohida rang tushayotgan nurni har xil yutadi.

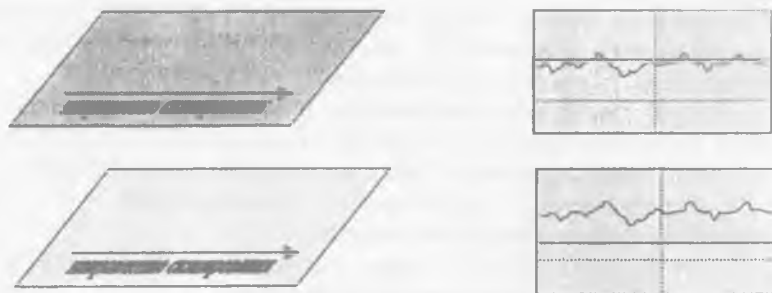


10.2 –rasm. Bir jinsli sirtlarni skanlash sxemasi

Sirt egriligini oʻlchash vaqtida «MED» yozuvining tagida qaytgan signalning nisbiy birliklardagi kattaligi akslanadi. Mana shu axborot kompyuterga beriladi va grafik koʻrinishida akslanadi.

10.3-rasmda egriligi bir xil boʻlgan, biroq yutuvchi tashkil etuvchisi har xil sirtlarning skanlashishiga misol tasvirlangan. Kompyuter displeyida diod tokining oʻzgarishi sezilib turibdi (qizil

chiziq), biroq sirtning qaytaruvchi tashkil etuvchisi o'zgarmasdan qolgan.



10.3-rasm. O'zgaruvchan yutuvchili sirtni skanlash sxemasi

10.4-rasmda asbobning funksional sxemasi keltirilgan. 7, 8 mikrokontrollerlar (MK) tugallangan funksional uzellar bo'lib, «ATMEL» firmasining mikrokontrollerlar asosida tayyorlangan va ular parallel holda har xil topshiriqlarga ishlov berishni bajaradi. MK 7 MK 8 nazorati ostida optik uzellarni boshqarishni amalga oshiradi. Qurilma manbaga ulangandan so'ng MK 8 asbobni testlashni amalga oshiradi va operator buyrug'ini kutish bosqichiga o'tadi.

Roslash buyrug'i olingandan so'ng MK7 boshqaruvchi kuchlanishni shakllantiruvchi 4 da o'rtacha kuchlanishni o'rnatadi. Boshqaruvchi kuchlanishni shakllantirgich tok regulyatori 3 ga ta'sir qilib, infraqizil optik nurlantirgichda o'rtacha tokni o'rnatadi va natijada sirt o'rtacha yoritilganlikka ega bo'ladi. O'tuvchi jarayonlarning o'rnatilish vaqti tugagandan so'ng optik qabul qilgich 6 ning kuchlanish kuchaytirgichi ASPidan o'zgartirish kodini so'raydi va uni roslash kodi bilan solishtiradi. Agar roslash kodi o'zgartirish kodidan katta bo'lsa, jarayon qaytariladi, biroq boshqaruvchi kuchlanish shakllantirgichga endi kattaroq kuchlanish beriladi. Agar roslash kodi o'zgartirilgan koddan kichik bo'lsa, unda boshqaruvchi kuchlanishni shakllantirgichga kichik kuchlanish beriladi. Mana shunday ketma-ket yaqinlashish usuli bilan MK7 o'lchashning 8 sikli davomida roslash kodiga yetib keladi.

Roslash tugagandan so'ng MK7 kuchayritgich – shakllantirgichdan so'ralgan diod tokining qiymatini diod 5 tokiga va qaytgan tashkil etuvchining o'lchangan qiymatini qaytaradi, MK8 esa ularni ekranga chiqaradi va tugmacha bosilgan yoki bosilmaganini tekshiradi.

Agar «o`lchash» tugmachasi bosilgan bo`lsa, MK8 MK7ga qaytgan tashkil etuvchini o`lchash to`g`risida buyruq beradi. MK7 o`z navbatida buni o`lchaydi va uning qiymatini MK8 ga qaytaradi va uni ekranga chiqaradi. Bu jarayon «o`lchash» tugmachasi bosilib turgan holati davomida qaytarilaveradi.

Agar «o`lchash» tugmachasi qo`yib yuborilsa, unda MK8 MK7 ga nurlantirgich 1 ni o`chirish to`g`risida buyruqni yuboradi.

Qurilmaning prinsipial sxemasi 10.5-rasmda keltirilgan.

Boshqaruvchi kuchlanishni shakllantirgich 4 DA2A (1401UD1) mikrosxemada bajarilgan.

Optik qabul qilgich 6 ning kuchlanish kuchaytirgichi DA2B, DA2C (1401UD1) mikrosxemada bajarilgan.

Diod 5 tokini kuchaytirgich-shakllantirgich DA2D (1401UD1) mikrosxemasi asosida bajarilgan.

Optik nurlantirgich 3 ning tok regulyatori VT1 tranzistorida bajarilgan.

AL107 turidagi infraqizil optik nurlantirgich.

FD256 infraqizil optik qabul qilgich.

MK7 mikrokontroller «ATTINY 15 L».

MK8 mikrokontroller «AT89S8252».

DV20200 turidagi suyuqkristalli raqamli indikator.

Asbobning pastki tomonida uchta metall oyoqcha o`rnatilgan. Skanlash jarayonida «oyoqchalar» skanlanadigan sirtida turishini yoki skanlanadigan sirt «oyoqcha» larning pastki qismi sathida joylashgan optik tizimning fokusida turishini ta`minlash kerak.

«O`lchash» tugmachasi bosilgandan so`ng skanlanadigan sirtga roslaniladi, shu sababli bu vaqtda asbobning har qanday harakati taqiqlanadi.

Skanlashni holat qatorida «METER» yozuvi paydo bo`lgandan keyin boshlash mumkin.

Skanlashda qurilmani tekis, taxminan, 1-2 sm/sek o`zgarmas tezlik bilan ixtiyoriy yo`nalishda harakatlantirish maqsadga muvofiqdir.

Texnik ma'lumotlar jadvali

O'lchash usuli	Optik, yo'naltiruvchilarsiz
Nurlanish to'liq uzunligi	0.9 – 12 mkm
Nurlanish quvvati	0 – 50 mVt
Uzatish tezligi	20 skan/s; (0,0541 mm/s).
Skanslash tezligi	0 – 2 sm/s
Qaytuvchi tashkil etuvchining o'lchash diapazoni	0 – 255 ed
Yutuvchi tashkil etuvchining o'lchash diapazoni	0 – 255 ed
Asbobning sarf qiluvchi quvvati	< 2 Vt
Manba kuchlanishi	220 V $\pm$ 10%
Yorug'lik dog'ining diametri	0.5 – 0.7 mm
Sezgirlik qobiliyati	100 mkm.
Statik ishlov berish	maksimal, minimal, o'rtacha, standart qiymatli, chetga og'ish, gistogramma.
Fodalanuvchining tanlovi	G'adir-budurlik parametrlarini ko'rsatishni tanlash
Chiziqli funksiya	Eng yaqin ikki nuqta koordinatlari ayirmasini ko'rsatadi
Dopuskni baholash	Uchta parametr uchun yuqorigi va pastki chegaraviy qiymatlari
G'adir-budurlikning parametrlari	60 ta parametrlar, R_x , R_y , R_z , S , S_m , S_r lar ham shu qatorda.
Grafik tahlil	9 ta grafiklar, BAC va ADC larni hisobga olgan holda
Kalibrlash	R_x ustupi, avtomat kalibrlash
Kutilayotgan iqtisodiy samaradorlik	yiliga mln. so'm

11 - TAJRIBA ISHI

ELEKTRON-NURLI ERITUVCHI QURILMANING TUZILISHI VA ISHLASH PRINSIPI BILAN TANISHISH

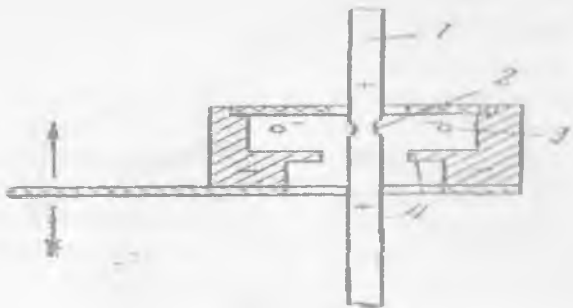
Ishdan maqsad: Qiyin eruvchan materiallarni tigelsiz zonali eritish elektron-nurli qurilmaning tuzilishi va ishlash prinsipi bilan tanishish.

Nazariy qism

Ilmiy-tadqiqot ishlarida va yangi texnikada qo'llanilish istiqbollari nuqtayi nazaridan qiyin eruvchan materiallar monokristallarini o'stirish muammosi hozirgi paytda katta qiziqish uyg'otmoqda.

Qiyin eruvchan materiallar monokristallarining tozaligiga va strukturasiga qo'yiladigan talablar tigelsiz zonali eritish usulining har xil variantlaridan biri bo'lgan elektron qizdirg'ichli modifikatsiyasini qo'llash bilan bajarilishi mumkin. Bu usul boshqalarga qaraganda sifati yuqoriroq bo'lgan monokristallar hosil qilish imkoniyatini beradi.

11.1-rasmda elektron-nurli qizdirgichning ishlash prinsipini tushuntiruvchi sxema keltirilgan.



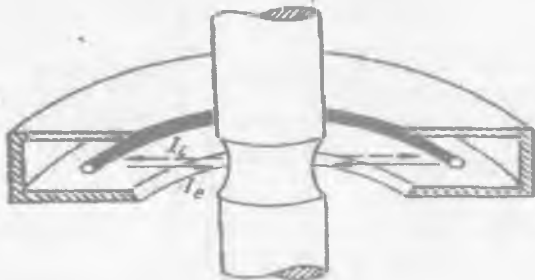
11.1-rasm. Elektron-nurli qurilmaning sxemasi:

- 1—namuna (diametri 3 mm li volfram sterjen`); 2 — eritilgan zona;
3 — qizdirgich simi(katod); 4 — qaytargich

Qizdirilgan katod 3 dan emissiyalanayotgan elektronlar 4-20 kV li o'zgarmas kuchlanish yordamida eritiladigan sterjen 1 tomon tezlashtiriladi va ular sterjen bilan to'qnashib unga ortiqcha kinetik energiyasini issiqlik ko'rinishida beradi. Elektronlarning bu energiyasi ularning sterjendagi erkin yugurish yo'li uzunligi atrofidagi masofada sochiladi, ya'ni quymaning sirt qatlamiga yutiladi. Quymaning ichki qismi sirt qatlamidan issiqlik o'tkazuvchanlik natijasida o'tayotgan issiqlik natijasida qiziydi va ma'lum uzunlikdagi erigan zona 2 hosil bo'ladi. Elektron-nurli qizdirishda namuna (qayta eritilayotgan sterjen) yoki katodning bittasi «yerga» ulanadi. Katod yerga ulansa, texnik xizmatchilarni yuqori kuchlanishdan himoya qilish osonlashadi.

Umuman elektron-nurli qizdirish qurilmasi vakuum qurilmasidan, elektr ta'minlash va boshqarish bloklaridan hamda fokuslaydigan ekranli katod uzellaridan tashkil topadi.

Metalli kristallarni yoʻnalishli kristallash jarayoni sharoitida oʻstirishda jismning hammasi eritiladi va undan soʻng bir tomondan berilgan yoʻnalishda sekin-asta qotiriladi. Bu jarayondan vertikal zonali eritish usulining farqi shundaki, bunda qiyin eruvchan materialning hammasi emas, balki bir qismi-zonasi eritiladi va tigel kerak boʻlmaydi. Ergan zonaning hajmi uncha katta boʻlmasdan u ikkita – eritiladigan va kristallanadigan qattiq faza sirtlari bilan chegaralanadi. Vertikal joylashgan sterjenda elektronli qizdirish natijasiga hosil boʻladigan erigan metall zonasi sirt taranglik kuchlari yordamida ushlab turiladi(11.2-rasm). Zonali eritishning oʻziga xos xususiyatlaridan biri bu kristallanishning oʻstirmadan boshlanadigan yoki oʻz holicha hosil boʻlgan va butun namuna boʻyicha roslanadigan tezlik bilan oʻtadigan kristallanish frontidan boshlanishidir.



11.2-rasm. Ergan metall zonasining hosil boʻlish sxemasi: anod tokining I_+ -ion va I_e -elektron tashkil etuvchilari

Metallarning kristallanish jarayonida yuz beradigan hamma hodisalarni uchta asosiy omillarning oʻzaro taʼsiri natijasi deb qarash mumkin: oʻsayotgan kristallning kristallografik xarakteristikalar; eritmada erigan kirishmalarning va qattiq hamda suyuq fazalardagi haroratning taqsimoti.

Koʻpincha amalda zonali eritishda katod sirtmogʻi tekisligida elektronlar oqimini shakllantiradigan katod uzeli qoʻllaniladi. Bu uzeli yassi katod uzeli deyiladi. Katod sirtmogʻi tekisligida metall ning erigan zonasining shakllanishi musbat ionlar oqimi I_+ ning hosil boʻlishi bilan bogʻliqdir. Bunda elektron va ionlar massalari va tezliklarining nisbatlari quyidagicha boʻladi:

$$\frac{m}{M} = \frac{1}{6 \cdot 10^4} \quad \frac{v_e}{v_i} = \sqrt{\frac{M}{m}} = 2 \cdot 10^2, \quad (11.1)$$

Harakatlanayotgan zarrachalarning fazoviy zaryad zichligi quyidagi nisbat orqali aniqlanadi:

$$\rho = \frac{i}{v}$$

(11.2)

bu yerda i – zarrachalar oqimi zichligi, v – ularning tezligi.

Bir xil zaryadli zarrachalarda energiyalari teng bo'lganda tezliklar nisbati ikkita oqimdagi fazoviy zaryadlarning tekisligi kattaligini o'lchay oladigan qiladi.

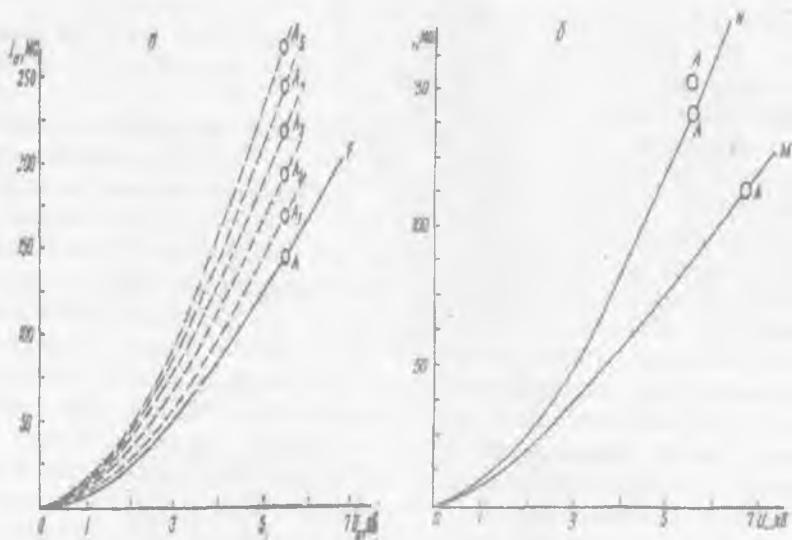
Ko'pgina gaz va bug'lar atomlarining ionlashish ehtimolligi elektron dastasining energiyasi 100-200 eV sohasida maksimumga ega bo'ladi. Katod bilan qayta eritiladigan namuna orasidagi potentsiallar ayirmasi taxminan 7 kV ni tashkil qiladi. Anod va katod oralig'ida potentsiallar nochiziqli taqsimlanadi: katod uzeli ekрани atrofida elektr maydoni konsentratsiyasi potentsialning tez oshishiga olib keladi. Potentsiali 200 V ga yetadigan soha katod uzeli ekraniga yaqin joylashadi. Shu sababli zonali eritishning birinchi o'tishi jarayonida paydo bo'ladigan sekin musbat ionlarning eng katta miqdori katod uzeli yaqinida hosil bo'ladi. Bu musbat ionlar elektr maydoni ta'sirida katod-ekran fazosiga o'tadi. Bu fazoda elektronlarning tezligi kichik bo'ladi va musbat ionlar katod potentsiali minimumida manfiy fazoviy zaryadni kompensatsiyalaydi. Natijada katod yaqinida to'liq fazoviy zaryadning kattaligi nolgacha kamayadi. Bu vaqtda yassi katod uzeli boshqarilmaydigan bo'lib qoladi.

11.3-rasmda impuls usuli bilan zona eritilmasdan olingan erituvchi qurilmaning volt-ampere xarakteristikasi keltirilgan. Bu xarakteristika elektrvakuumli asbob anod tokining anoddagi kuchlanishga bog'lanishining odatdagi egri chizig'ini beradi. Zonali eritish rejimida metallning erigan zonasi OF egri chizig'ining A nuqtasiga mos keladigan anod toki kattaligida shakllanadi (11.3-rasm). A nuqta ishchi nuqta deb ataladi.

Katod potentsiali minimumining musbat ionlar bilan kompensatsiyalanishi elektrodlar oralig'idagi potentsiallar taqsimotini o'zgartiradi va anod toki kattaligining o'zgarishiga olib keladi. VAXda bu o'zgarish A ishchi nuqtaning vetrikal bo'yicha siljishi ko'rinishda tasvirlangan (11.3-rasm). Tokning o'zgarish (dreyf) chegarasi kirishmaning konsentratsiyasiga bog'liq bo'ladi va zonani shakllantiradigan tok kattaligining 40 % ga yetib boradi.

Anod toki dreyfi vaqtida ishchi nuqtaning siljishi ($A1 - A2 - A3 - A4 - A5$ nuqtalar bo'ylab) hamma VAXning yangi solatma siljishiga ekvivalentdir. Katod potentsiali minimumida fazoviy zaryad tomonidan anod tokining cheklanish rejimida zonali eritilishning

harorat rejimi erituvchi kamera elektrodlaridagi anod kuchlanishini o'zgartirish orqali boshqariladi.



11.3-rasm. Yassi (a) va konusli katod uzelli va anod toki bo'yicha manfiy teskari bog'lanishli (b) zonali eritish qurilmasining volt-ampere xarakteristikalari

Yassi katod uzeli elektronlar oqimining fluktuatsiyasi sababini tekshirish natijasida zonali eritish jarayonini ichki stabilizatsiya quyida keltirilgan asosiy sharti bajariladigan konstruksiyani yaratish zarurligini aniqlab berdi: katod uzeli xarakteristikasi katod uzeli va erigan metall zonalarining elektr va issiqlik parametrlari orasidagi musbat teskari bog'lanishlarni kuchsizlantirishga yo'l berishi kerak. Bu shartni elektron oqimi erigan namuna sirtiga uning o'qiga 60° burchak ostida tushadigan katod uzeli qoniqtiradi (11.2-rasm). Bunda elektron oqimi kovak konus shaklini oladi. Shu sababli katod uzeli konusli deb atalgan.

Yuqorida yassi katod uzeli elektron va ion oqimlarining o'zaro ta'siri natijasida katod uzeli ekranlarining elektron oqimini boshqara olish xususiyatining yo'q bo'lishi aytib o'tilgan edi. Bu omil destabilizatsiya mezon sifatida qabul qilingan. Eng katta kuchli teskari bog'lanishni kamaytirish imkoniyatini bergan konstruktiv yechim bu elektrodlar oralig'ida elektron va ion oqimlarini fazoviy ajratish bo'ldi. Buning uchun eritiladigan namuna sirtiga elektron

oqimining tushish burchagi shunday tanlandiki, bunda katod uzeli ekranlarining elektron oqimini boshqaruvchi ta'sirining yo'q bo'lishi qayta eritiladigan zagotovkadagi kirishmalarning eng katta konsentratsiyalarida kuzatilmasligi kerak ekan. Bu burchakning optimal kattaligi $\varphi = 60^\circ$ ga teng ekan. Namuna sitriga 60° ostida yo'naltirilgan elektron oqimi metallda katod uzeliidan pastda joylashgan erigan zonani shakllantiradi (11.4-rasm).

Katod uzeli elektron oqimining parametrlari ishga qo'yiladigan talablarga mos holda tanlanadi. Katod qizdirgichi tokining kattaligi maksimal qizdirish harorati $T = 2800^\circ \text{ K}$ va volfram simi qirqimi hisobidan tanlanadi hamda zonali eritish jarayoni davomida o'zgartirmasdan ushlab turiladi. Jarayonning ishchi rejimi (zona harorati) erituvchi kamera elektrodlaridagi anod kuchlanishi bilan qo'yiladi va boshqariladi.



11.4-rasm Konusli katod uzelinin sxemasi (a) va uning konstruktiv tayyorlanishi (b):
anod tokining I_i — ionli va I_e — elektronli tashkil etuvchilari

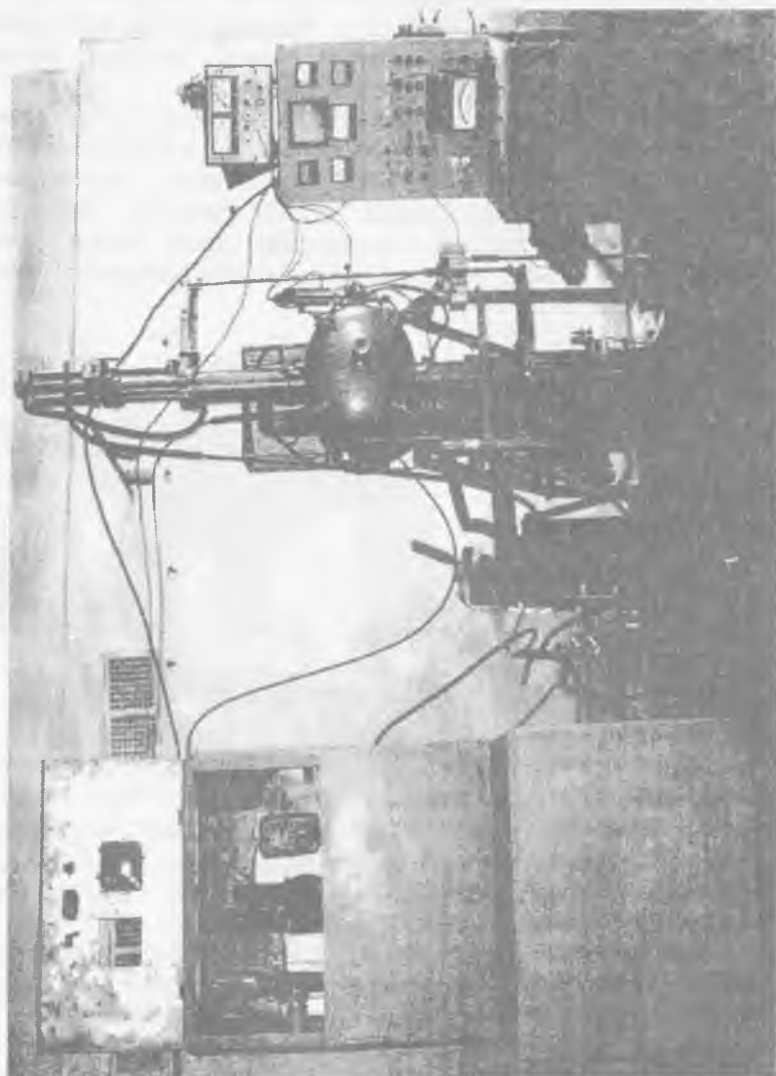
Qurilmaning tuzilishi

Qiyin eruvchan materiallarni tigelsiz zonali eritishning elektron-nurli qurilmasi vakuum tizimli erituvchi kamera, boshqarish pulti va to'g'rilagichli bloklardan tashkil topadi. Qurilmaning umumiy ko'rinishi 11.5-rasmda ko'rsatilgan.

Qurilmaning chap tomonida to'g'rilagichli blok joylashgan. Uning tarkibi uch fazali kuch transformatori TS-10, uch fazali ko'priqli to'g'rilagich va anod toki cheklagichlaridan iborat.

O'rtada vakuum tizimli erituvchi kamera va eritiladigan namunani siljitadigan mexanizmlar joylashgan. O'ng tomonda shkaf

ko`rinishda bo`lgan mos yozuvli boshqarish pulti va o`lchash asboblari joylashgan.



11.5-rasm Elektron-nurli qurilmaning umumiy ko`rinishi

mahkamlash va katodni almashtirish uchun razyomli germetik kameradan iborat bo'ladi. Bundan tashqari kamerada erish jarayonini kuzatib turish uchun ko'rish oynasi ham joylashgan bo'ladi.

Zonani elektronli qizdirish jarayoni normal kechishi uchun erituvchi qurilmaning ishchi fazosidagi vakuum kattaligi elektrodlar oralig'ida gaz razryadining hosil bo'lmasligini ta'minlaydigan darajada bo'lishi kerak. Namunani eritish haroratining yuqoriligi suyuq metallning intensiv gazlanishiga olib keladi. Bu bilan so'rish tezligi, metalldagi erigan zona hajmi va vakuum kamera hajmi orasidagi munosabat aniqlanadi. So'rish tezligi uch bosqichli vakuum tizimi bilan ta'minlanadi. Dastlabki vakuumni (past vakuum – 10^{-1} mm.sim.ust.) mexanik forvakuum nasos ta'minlab beradi. Bosimi $10^{-3} - 10^{-4}$ mm.sim.ust. bo'lgan vakuumni suv bilan sovitiladigan moyli buster nasosi ta'minlaydi. Yuqori vakuumni ($10^{-5} - 10^{-6}$ mm.sim.ust.) suv va suyuq azot bilan sovitiladigan moyli diffuzion nasos N-2T ta'minlaydi.

Qurilmani ishga tayyorlash

1. Yuqori voltli qurilmada ishlash texnika xavfsizligi yo'riqnomasi bilan yaxshilab tanishilsin.

2. Elektron-nurli qurilmaning yo'riqnomasi va uning boshqarish organlari diqqat bilan o'rganilsin.

3. Boshqarish pultidagi yoqqichlar «Выкл» holatiga qo'yilsin.

4. Vakuum tizimining ventillari «Закрыт» holatiga qo'yilsin.

Ishni bajarish bo'yicha topshiriqlar va uslubiy ko'rsatmalar

1. Qurilmaning prinsipial elektr sxemasi chizilsin va uning ishlash prinsipi bilan tanishilsin.

2. Erituvchi qurilma volt-ampere xarakteristikasining kutilayotgan ko'rinishini chizishni bilish va uni tushuntirib berish. O'qituvchi yoki texnik-operator rahbarligida qurilmaning VAXini qurishni bilish.

3. Mexanik hamda suvli va suyuq azotli sovitgichli diffuzion nasos yordamida hosil qilinadigan vakuumning chegaraviy kattaligini o'rganish.

4. Elektr shitidagi yoqqich ulanadi va o'qituvchi rahbarligida qurilmaga 380 V o'zgaruvchan kuchlanish beriladi.

5. Forvakuum nasosidagi «пуск» tugmachasini bosib, mexanik nasos ishga tushiriladi. Past vakuum ventili ochiladi. 20-30 minutdan so'ng boshqarish pultida joylashgan vakuummetr bilan vakuum o'lchanadi.

6. Vakuum 10^{-1} mm.sim.ust. ga yetgandan so'ng nasoslarni sovitish uchun suvning krani ochiladi va buster nasosidagi «nyek» tugmachasi bosilib, buster nasosining qizdirgichi ulanadi. Vakuum 10^{-1} mm.sim.ust. da vakuummetrdagi strelka qizil chiziqdan tashqarida joylashadi.

7. Vakuum $10^{-2} \div 10^{-3}$ mm.sim.ust. ga yetgandan so'ng diffuzion nasosning qizdirgichi ulanadi va nasosni sovitish uchun suvning krani ochiladi.

8. Vakuum 10^{-4} mm.sim.ust. ga yetgandan so'ng suyuq azot qizdirgichi ulanadi, bunda suyuq azotning bug'larining bosimi ta'sirida suyuq azot diffuzion nasosning sovitiladigan qismiga quyiladi. 20-30 minut o'tgandan so'ng vakuum o'lchanadi.

9. Katod uzelliga va cheklagich lampasiga mos tugmachalar bosilib, kuchlanish beriladi va 15-20 minut qizdiriladi.

10. Vakuum $(2 \div 4) \cdot 10^{-5}$ mm.sim.ust. ga yetgandan so'ng va katod qizigandan keyin yuqori kuchlanish ulanib, qurilmaning VAXi olinadi. Kuchlanish va tokning kattaligi cheklagich qizdirgichining kuchlanishi o'zgartirilib boshqariladi. Qizdirgich kuchlanishi LATR va boshqarish pultida joylashgan reostat yordamida o'zgartiriladi. Hamma ishlar o'qituvchi rahbarligida bajariladi.

11. VAX olinib bo'lgandan so'ng anod kuchlanishining «eron» tugmachasi bosilib yuqori voltli to'g'rilagichning kuchlanishi o'chiriladi. Katod uzeli va cheklagichdagi mos «eron» tugmachalari bosilib, kuchlanishlar o'chiriladi.

12. Pultdagi «eron» tugmachalari bosilib, buster va diffuzion nasos qizdirgichlari o'chiriladi.

13. Diffuzion va buster nasoslari sovigandan so'ng mexanik nasos o'chiriladi. Past va yuqori vakuum ventillari yopiladi. Vakuumprovodda joylashgan «воздух» klapani orqali mexanik nasosga havo qo'yiladi. Sovituvchi suvning krani yopiladi. Qurilma butunlay kuchlanishdan ajratiladi va toksizlantiriladi.

Hisobotning mazmuni

Bajarilgan laboratoriya ishi hisobotida quyidagilar bo'lishi shart: tekshirilayotgan elektron-nurli qurilmaning amaliy sxemasi; 2-punkt bo'yicha tajriba natijalari jadvali; topshiriq; $I_a = f(U_a)$ bog'lanishning grafigi va uni yassi va konusli katod uzeli nazariy bog'lanishlari bilan solishtirish; mexanik, buster va diffuzion nasoslar yordamida hosil qilinadigan vakuumning chegaraviy qiymatlari keltirilgan jadval.

Kollokvium uchun savollar

1. Elektron-nurli qurilma qanday qismlardan tashkil topgan?
2. Nima uchun qurilmaga 6-10 kV li yuqori anod kuchlanishi kerak?
3. Anod tokini cheklovchining vazifasi nimadan iborat?
4. Mexanik, buster va diffuzion nasoslarning vakuum hosil qilish chegaralari qiymatlari nimaga teng?
5. Nima uchun elektron-nurli qizdirish vakuum 10^{-5} mm.sim.us ga yetganda mumkin?
6. Nima uchun diffuzion nasos qo`shimcha ravishda suyuq azot bilan sovitiladi?

Sinov savollari

1. Elektron-nurli qurilmaning ishlash prinsipini tushuntirib bering.
2. Qurilmada anod kuchlanishi qanday boshqariladi?
3. Nima uchun qurilmada konusli katod uzeldan foydalaniladi?
4. Yassi katod uzeli qanday kamchiliklarga ega?
5. Yassi va konusli katod uzellari bilan ishlashda qurilmaning VAXi bir-biridan nima bilan farq qiladi?
6. Haroratli nostabillikning sabablarini aytib bering.

12- TAJRIBA ISHI

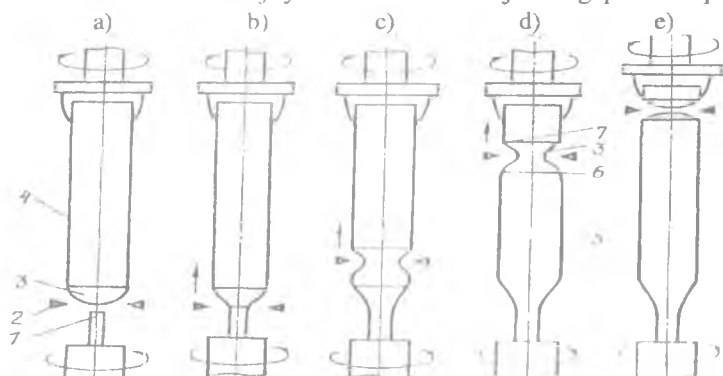
MOLIBDEN KRISTALLARINI TIGELSIZ ZONALI ERITISH USULI ORQALI HOSIL QILISH JARAYONLARI BILAN TANISHISH

Ishdan maqsad: molibden kristallarini vakuumda elektronli qizdirishdan foydalanib tigelsiz zonali eritish usuli bilan o`stirish jarayonlari bilan tanishish.

Nazariy qism

Tigelsiz zonali eritish usuli moddalarni yo`nalishli kristallash usullaridan bittasi bo`lib, uning yordamida moddalar tozalanadi va monokristall strukturalar hosil qilinadi. Tigelsiz zonali eritish usuli qiyin eruvchan materiallarni tozalash va kristallarini o`stirishda, asosan yarimo`tkazgichli kristallarni o`stirishda eng ko`p tarqalgan. Bu usulning mohiyati quyidagicha (12.1-rasm).

Qayta eritilib monokristallga aylantiriladigan sterjen 4 vertikal holatda yuqorida maxsus ushlagichga mahkamlanadi. Yuqori ushlagich bilan bir xil o'qda bo'lgan pastki ushlagichga esa monokristall o'stirma 1 joylashtiriladi. Sterjenning pastki qismida



12.1-rasm. Zonali eritish jarayonining bosqichlari

- a) tomchining hosil bo'lishi; b) o'stirmalash; c) konusning hosil bo'lishi;
d) o'zgarmas diametrli kristallning o'stirilishi; e) zonaning uzilishi

katod uzeli yordamida eritma tomchi 3 hosil qilinadi. Bu tomchi sterjenda sirt taranglik kuchi yordamida ushlab tutiladi. Tomchi hosil bo'lgandan so'ng unga o'stirma tekkiziladi va to'liq ho'llangungacha ushlab turiladi. Shundan so'ng vertikal sterjen katod uzeligiga nisbatan pastga tomon yoki katod uzeli 2 sterjenga nisbatan yuqoriga tomon ma'lum bir tezlik bilan siljtiladi. Buning natijasida sterjenning pastki eritma qismi o'stirmada monokristall 5 ko'rinishida qotadi. Sterjenning yuqori qismida esa erigan zona hosil bo'ladi, ya'ni erigan zona yuqoriga tomon harakatlanishi natijasida sterjen sekin-asta monokristallga aylanadi. Eritma ifloslanmasligi uchun bu jarayon chuqur vakuum sharoitida o'tkaziladi.

Eritma tomchi og'irlik kuchi ta'sirida zonaning o'lehamiga, sterjen diametriga, kapillyar doimiysiga va eritma zichligiga bog'liq bo'lgan ma'lum bir shakl ko'rinishga ega bo'ladi. Zona pastki qismi sirtining holati qayta kristallanayotgan sterjenning diametri kichrayishini yoki kattalashishini belgilaydi. Kristall diametrini o'zgartirmasdan zonali eritishning asosiy sharti bu kristallanish chegarasida eritma sirtiga o'tkazilgan urinmaning vertikalga yaqin joylashishidir. Jarayonning yakunida birlamchi sterjen pastga tomon siljtilib zona-dan uziladi va eritma qotgandan so'ng induktor chiqarib olinadi.

Tigelsiz zonali eritishning asosiy ustunligi bu texnologik jarayonning to'liq sterilligi bo'lib, ishlov beriladigan sterjenlarning diametrlari oshirilganida erigan zona turg'unligining kichiklashishi bilan bog'liqdir. Zonali eritishda eritish issiqligi zonaning yon sirtida ajaraladi va diametri kattaroq sterjenda uning o'qida erigan zona balandligi yon sirtiga qaraganda anchaga kichik bo'ladi. Buning natijasida strejen diametri oshirilganda erigan zonaning tashqi balandligini ham oshirish kerak bo'ladi. Balandlikning oshishi esa eritmadagi gidrostatik bosimning oshishiga va zona turg'unligining yo'qolishiga olib keladi. Shu sababli erigan zonaning balandiligi 8-10 mm uzunlikda ushlab turiladi.

Tigelsiz zonali eritishda muvozanatda bo'lgan qattiq va suyuq fazalar tarkiblari har xil bo'ladi. Bu holat asosiy bo'lib, qotishda kirishmalar taqsimotini o'zgartirish imkoniyatini ta'minlaydi. Suyuq va qattiq fazalar tarkiblarining har xilligi taqsimot ko'effitsientining kattaligi bilan xarakterlanadi. Taqsimot ko'effitsienti K kristallanayotgan qattiq fazadagi kirishmalar konsentratsiyasi S_Q ning suyuq faza hajmidagi kirishmalar konsentratsiyasi S_s ga nisbati bilan aniqlanadi.

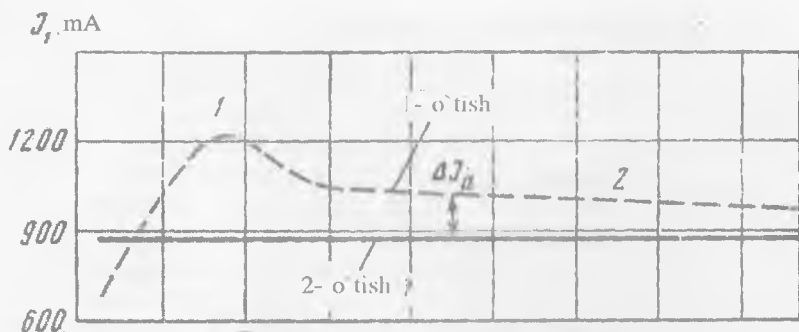
$$K_o = S_Q / S_s$$

Taqsimot ko'effitsienti $K_o = 1$, $K_o < 1$, $K_o > 1$ qiymatlarga ega bo'lishi mumkin.

$K_o < 1$ da qayta eritilayotgan sterjendan kirishmalar eritma ta'sirida sterjenning oxiriga siqib chiqariladi. $K_o > 1$ da kirishmalar sterjenning boshlanishiga siqib chiqariladi. $K_o = 1$ da esa kirishmalar eritma bilan ko'chmaydi.

Sterjenni kirishmalardan tozalash uchun zonali eritish ko'p marta qayta-qayta o'tkaziladi. Zonali eritish rejimlarining tahlili shuni ko'rsatdiki, zonaning eritishning boshidan oxirigacha birinchi o'tishida o'rtacha anod toki taxminan 7-8 % ga kamayar ekan. 12.2-rasmda keltirilgan eritish tokining o'lgangan o'rtacha qiymati egri chizig'ida ikkita sohani ajratish mumkin: turg'unlashmagan rejim sohasi (1) va turg'unlashgan (stabillashgan) rejim sohasi (2).

Umumiy erish vaqtining taxminan 1/8 qismini tashkil qiladigan birincha sohaga nostabillikning eng ko'p miqdori to'g'ri keladi. Zonaning ikkinchi o'tishida nostabillikning yig'indi miqdori birinchi o'tishga nisbatan taxminan 70-80% ga, anod tokining o'rtacha qiymati esa ikkinchi o'tishda 18-20 % ga kamayadi.



12.2-rasm. Eritgan zonaning birinchi va ikkinchi o'tishlarida anod tokining o'rtacha qiymatining o'zgarishi

Sterjen o'qi bo'ylab kirishmalar konsentratsiyasi taqsimotini bir xil qilish maqsadida zonali eritish avval pastdan yuqoriga, keyin esa yuqoridan pastga tomon o'tkaziladi.

O'stirilayotgan kristallarning sifati ularda struktura nuqsonlarining borligi bilan aniqlanadi. Strukturali nuqsonlarga nuqtali nuqsonlar – vakansiyalar, o'rin almashgan va kiritilgan atomlar, nuqtali nuqsonlar kompleksi hamda dislokatsiyalar va ularning yig'masi kiradi.

Ko'p hollarda eritilgan zonani hosil qilish uchun induksiya qizdirish, optik qizdirgich, fokuslangan quyosh nurlari, elektronli qizdirishlardan foydalaniladi. Elektronli qizdirish boshqa usullarga qaraganda quyidagi ustunliklarga ega: elektronlarning fokuslangan oqimi eritiladigan namunada kichik sohada qizdiruvchi energiya konsentratsiyasini ta'minlaydi, f.i.k. i yuqori, yuqori konsentratsiya quvvat, qizdirishni boshqarishning inersiyasizligi.

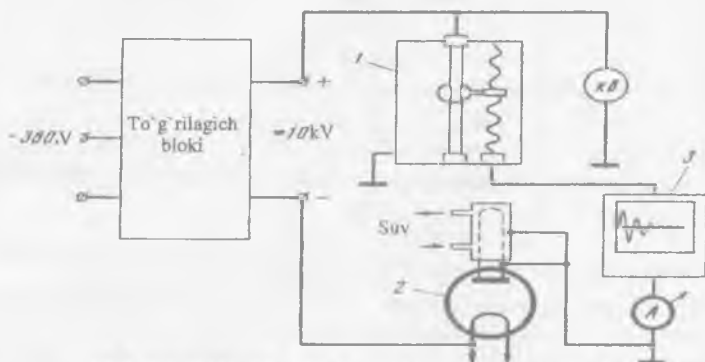
Qurilmaning tuzilishi

Qiyin eruvchan materiallarni tigelsiz zonali eritish uchun qo'llaniladigan elektron-nurli qurilma vakuum tizimli erituvchi kamera, boshqarish pulti va to'g'rilagichli bloklardan tashkil topgan. Qurilmaning umumiy ko'rinishi 11.5-rasmda keltirilgan edi.

Qurilmaning chap tomonida to'g'rilagich bloki joylashgan. U uch fazali kuch transformatori TS-10, uch fazali ko'priqli to'g'rilagich va anod tokini cheklagichlarini o'z ichiga oladi. Qurilmaning prinsipial elektr sxemasi 12.3-rasmda keltirilgan.

O'rtada vakuum so'rish tizimli eritish kamerasi va qayta eritiladigan sterjenni siljitadigan mexanizmlar joylashgan. O'ng tomonda shkaf ko'rinishda mos yozuvlari bilan birga boshqarish

pulti va o'lchov asboblari joylashgan.



12.3-rasm. Zonali eritish qurilmasining prinsipial elektr sxemasi:
1 – elektron-nurli qizdirgich; 2 – anod toki impulslerini cheklagich;
3 – tok impulslerini qayd qilgich

To'g'rilagichli blok halqali katod (manfiy qutb) va eritiladigan namuna (musbat qutb) orasiga qo'yiladigan tezlatuvchi kuchlanishni hosil qilishga mo'ljallangan bo'lib, bu kuchlanish namunaning diametriga bog'liq holda 6-10 kV ni tashkil qiladi. Erituvchi qurilmadagi anod tokini cheklash uchun GKO-10 turdagi to'g'ri qizdirgichli volfram katodli va o'ng tomonli anod-to'r xarakteristikali lampa qo'llanilgan. GKO-10 lampani tanlashning sababi bu lampa anod tokining volt-amper xarakteristikasida kerakli aniq to'yinish uchastkasi mavjudligi hamda katod va lampa to'ring kam qizdirish rejimida impulsli ortiqcha yuklanishlarga turg'unligidir.

Anod tokining to'yinish rejimida cheklovchi lampaning ishlashi zonali eritishda kerakli qiymatdagi anod tokini aniqlaydigan katodning doimo kam qizdirilishi bilan ta'minlanadi. Shunday qilib, erituvchi kamera anod tokining kattaligi (zona harorati) cheklovchi lampa katodi qizdirgichi tokini o'zgartirish orqali boshqariladi. Cheklagichning qo'llanilishi anod zanjiridagi impulsli xalaqitlarning umumiy sathini kamaytiradi va bu bilan kommutatsiyalovchi va boshqaruvchi apparaturalar ishlashining ishonchligini oshiradi. Bundan tashqari, cheklagich impulsli qayta kuchlanishlar natijasida rentgen nurlanishlarning hosil qilish xavfini yo'q qiladi.

Elektronli erituvchi kamera dinamik vakuum hosil qiluvchi naoslar tizimi bilan ta'minlangan va eritiladigan namunani mahkamlash va katodni almashtirish uchun razyomli germetik

kameradan iborat bo'ladi. Bundan tashqari kamerada erish jarayonini kuzatib turish uchun ko'rish oynasi ham joylashgan bo'ladi.

Zonani elektronli qizdirish jarayoni normal kechishi uchun erituvchi qurilmaning ishchi fazosidagi vakuum kattaligi elektrodlar oralig'ida gaz razryadining xosil bo'lmasligini ta'minlaydigan darajada bo'lishi kerak. Namunani eritish haroratining yuqoriligi suyuq metallning intensiv gazlanishiga olib keladi. Bu bilan so'rish tezligi, metalldagi erigan zona hajmi va vakuum kamera hajmi orasidagi munosabat aniqlanadi. So'rish tezligi uch bosqichli vakuum tizimi bilan ta'minlanadi. Dastlabki vakuumni (past vakuum – 10^{-1} mm.sim.ust.) mexanik forvakuum nasos ta'minlab beradi. Bosimi 10^{-3} – 10^{-4} mm.sim.ust. bo'lgan vakuumni suv bilan sovitiladigan moyli buster nasosi ta'minlaydi. Yuqori vakuumni (10^{-5} – 10^{-6} mm.sim.ust.) suv va suyuq azot bilan sovitiladigan moyli diffuzion nasos N-2T ta'minlaydi.

Qurilmani ishga tayyorlash

1. Elektron-nurli qurilmaning yo'riqnomasi va boshqarish organlari bilan yaxshilab tanishilsin.

2. Boshqarish pultidagi yoqqichlar «Выкл» holatiga qo'yilsin.

3. Vakuum tizimining ventillari «Закрыть» holatiga qo'yilsin.

Ishni bajarishga metodik ko'rsatmalar

1. Qurilmaning prinsipial elektr sxemasi chizilsin va tigelsiz zonali eritishni o'tkazish prinsipi bilan tanishilsin.

2. Jilvirlangan diametri 3,5 mm va uzunligi 220 mm bo'lgan molibden sterjeni tayyorlansin.

3. Qalinligi 0,1 mm li molibden listidan eni 2 mm, uzunligi 140 mm bo'lgan plastinka tayyorlansin va unga 0,1 mm diametrli sim o'ralsin.

4. Tayyorlangan sterjenlar natriy ishqori eritmasida yemirilsin va quritilsin.

5. Simli plastinka ikkita molibdenli chiviqlar orasiga qo'yilsin va diametri 0,5 mm li molibden sim bilan bog'lansin.

6. Eritish kamerasi ochilsin, bo'z mato bilan kamera devorlari iflosliklardan tozalansin. Yuqorigi shtokka tayyorlangan namuna mahkamlansin. Bunda namuna hamma uzunligi bo'yicha halqali katod uzelinesi o'rtasida bo'lishi kerak.

7. Pastki shtokka molibden monokristallidan iborat bo'lgan o'stirma mahkamlansin. Namuna va o'stirma oralig'idagi masofa 4-5 mm bo'lishi kerak. Kamera yaxshilab berkitilsin.

8. Mexanik nasos ulansin va vakuum 10^{-1} mm.sim.ust. ga

yetgandan so'ng buster va diffuzion nasoslar ulansin. Nasoslarni sovutish uchun suvning kranlari ochilsin.

9. Vakuum 10^{-4} mm.sim.ust. ga yetgandan so'ng suyuq azot qizdirg'ichi ulansin va 15-20 minut o'tgandan so'ng yuqori vakuum o'lchansin.

10. Vakuum $(2\div 4)\cdot 10^{-5}$ mm. sim.ust. ga yetgandan so'ng katod uzelliga hamda cheklagich lampasiga kuchlanish berilsin va 10-15 minut qizdirilsin.

11. Yuqori kuchlanish ulansin, reostat bilan 30 mA anod toki 6 kV kuchlanish o'rnatilsin. Ko'rish oynasi orqali namunaning qizishi kuzatib turilsin.

12. Pd pereklyuchateli «Движение вниз» holatiga qo'yilsin. Reduktorda shtokning harakat tezligini 10 mm/minut qilib qo'yilsin. Vk3 tumblari yoqilib, «Вкл» holatiga qo'yilsin. Namuna 700-900 °C haroratgacha qizigandan so'ng pastga tomon harakati boshlansin. Bunda vakuummetr ko'rsatkichi va namuna doim kuzatib turilsin.

13. Qizdirish zonasi yuqorigi nuqtaga yetganda (yuqorigi simli o'ram) Vk3 tumblari o'chiriladi, Pd pereklyuchateli «Движение вверх» holatiga qo'yiladi. Vk3 tumblari yoqiladi. Bunda shtoklar yuqoriga tomon harakatlana boshlaydi. Qizdirish zonasi sterjenning pastki qismiga yetgandan so'ng tumbler Vk3 o'chirilib harakat to'xtatiladi. Mana shu bilan gazsizlantirish jarayoni tamomlanadi.

14. Reduktorda harakat tezligi 3 mm/minut qilib qo'yiladi. Reostat yordamida anod tokining sterjenning pastki qismi va o'stirmani eritadigan darajadagi qiymati qo'yiladi. Tokning bu qiymati yozib qo'yiladi.

15. Sterjenning va o'stirmaning erigan qismlari birlashtiriladi. Pd pereklyuchateli «Вниз» holatiga qo'yiladi hamda Vk3 tumblari yoqilib shtoklar harakatga keltiriladi va zonali eritish jarayoni boshlanadi. Eritilgan zonaning uzunligi $l_z = 8-10$ mm dan oshib ketmasligi va zonaning sovib qolmasligi doimo nazorat qilib turiladi. Zonaning har bir 10 mm o'tishida anod toki va kuchlanishlarning qiymatlari boshqarish pultidagi asboblarda yordamida o'lchab turiladi. Zonali eritishga bog'liq bo'lgan hamma jarayonlar o'qituvchi rahbarligida o'tkaziladi.

16. Erigan zona yuqorigi nuqtaga yetgandan so'ng harakat to'xtatiladi, Pd pereklyuchateli «Вверх» holatiga qo'yiladi va zonali eritish teskari yo'nalishda boshlanadi. Bunda ham anod toki va kuchlanishning qiymatlari har bir 10 mm da yozib boriladi. Erigan zona o'stirmaga yetgandan so'ng reostat bilan anod toki

kamaytiriladi, harakat to'xtatiladi. Yuqori kuchlanish, katod uzeldagi va cheklagichdagi kuchlanishlar o'chiriladi. Mana shu bilan zonali eritish jarayoni tugaydi. Diffuzion nasos sovigandan so'ng qurilma manbadan o'chiriladi. Vakuum ventillar va suv kranlari yopiladi.

17. Qayta eritilgan sterjen sovigandan so'ng (3-4 soatdan keyin) kamera ochiladi, molibden monokristali olinadi va metallografik tekshiruvga beriladi.

Hisobotning mazmuni

Bajarilgan laboratoriya ishi hisoboti quyidagilardan tashkil topishi kerak:

1. Elektron-nurli qurilmaning prinsipial elektr sxemasi.
2. Metodik ko'rsatmaning 10, 11 punktlariga asosan eksperiment natijalari keltirilgan jadval.
3. Oldindan qizdirish, eritilgan zonaning birinchi va ikkinchi o'tishlaridagi harorat, tok va kuchlanishlar qiymatlari keltirilgan jadval.

4. Birinchi va ikkinchi o'tishlarda qayta eritiladigan sterjen uzunligiga bog'liq holda anod toki o'rtacha qiymatlarining o'zgarish grafiklari.

5. Tigelsiz zonali eritish jarayonida hosil qilingan monokristallning umumiy ko'rinishi.

Kollokviumga savollar

1. Tigelsiz zonali eritishning mohiyati nimadan iborat?
2. Tigelsiz zonali eritishdan qachon va qanday maqsadda foydalaniladi?
3. Tigelsiz zonali eritish usulini tushuntirib bering.
4. Tigelsiz zonali eritish usuli qanday ustunliklarga ega?
5. Tigelsiz zonali eritish usuli qanday kamchiliklarga ega?
6. Kirishmalar taqsimoti koeffitsienti K deb nimaga aytiladi?
7. Kirishmalar taqsimoti koeffitsienti $K > 1$ va $K < 1$ bo'lgan hollarda kirishmalar qanday taqsimlanadi?

Sinov savollari

1. Tigelsiz zonali eritishning elektron-nurli qurilmasi qanday qismlardan tashkil topgan?
2. Nima uchun kristallanish jarayoni tigelsiz zonali eritish deb ataladi?
3. Yuqorivoltli transformator qanday ish bajaradi?
4. Nima maqsadda o'sirma kristalidan foydalaniladi?
5. Nima uchun tigelsiz zonali eritishda eritilgan zonaning

uzunligini 8-10 mm atrofida ushlab turiladi?

6. O`stirilgan kristallning sifatini aniqlovchi struktura nuqsonlarini sanab bering.

7. Qanday maqsadda oldindan qizdirish amalga oshiriladi?

8. Nima uchun eritilgan zonaning qayta-qayta o`tishi amalga oshiriladi?

13- TAJRIBA ISHI

OSON ERUVCHAN METALLARNING MONOKRISTALLARINI BRIJMEN-STOKBERGER USULI BILAN O`STIRISHNING TEXNOLOGIK JARAYONINI O`RGANISH

Ishdan masad: Brijmen-Stokberger usuli bilan monokristallar o`stirish qurilmasi bilan tanishish va bu qurilma yordamida oson eruvchan metallarning monokristallarini o`stirish texnologiyasini o`rganish.

Nazariy qism

**Suyuq fazadan kristallarni o`stirish.** Suyuq fazadan monokristallar o`stirishning barcha texnologik usullarini ikkita guruhga ajratish mumkin: o`z xususiy eritmasidan va qorishmasidan.

**Eritmadan kristallar o`stirish.** Eritmadan kristallar o`stirish jarayoni sanoatda eng ko`p tarqalgan, chunki bunda unumdorlik boshqa jarayonlarga qaraganda ancha yuqoridir. Ayniqsa bir komponentli eritmalaridan, ya`ni chet kirishmalar bo`lmagan (bo`lsa ham kichik miqdorda) tizimlardan kristallar o`stirish tezligi boshqa usullarga qaraganda 100 martadan ortiq kattadir.

Kongruent eriydigan, ya`ni erigan holatda kristall tarkibi bilan bir xil bo`lgan materiallar hamda erish haroratida bug` bosimlari kichik bo`lgan materiallar uchun eritmadan o`stirish jarayoni nisbatan sodda jarayon hisoblanadi. Kongruent erimaydigan materiallar uchun o`stirish usuli va jarayonni o`tkazish uchun kerak bo`ladigan uskunalar murakkablashadi.

Yo`nalishli kristallash usullarini uchta guruhga bo`lish mumkin:

1. Bu guruhga kiradigan usullarda boshlang`ich mahsulotning hammasi eritiladi va bir tomondan kristallanadi. Bu usullar *normal yo`nalishli kristallash usullari* deyiladi;

2. Ikkinchi guruhga eritilgan boshlang`ich mahsulotdan cho`zib tortish yo`li bilan monokristall o`stirish usullari kiradi. Bu

usullar *eritmadan kristallarni tortib o`stirish usullari* deyiladi;

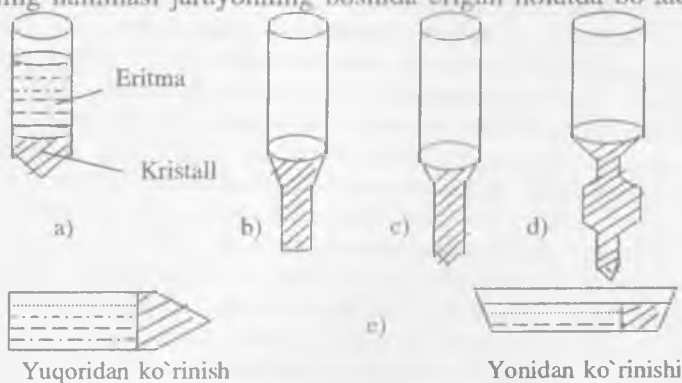
3. Uchinchi guruhga har bir vaqt mobaynida boshlang`ich mahsulotning faqat uncha katta bo`lmagan bir qismi (zonasi) eritiladigan va kristallanadigan usullar kiradi. Bu usullar *zonali eritish* yoki *zonali qayta kristallash usul-lari* deyiladi.

Monokristall o`stirishning bu guruhlarga taalluqli bo`lgan eng asosiy usullarini ko`rib chiqamiz.

Eritmalarni normal yo`nalishli kristallash usullari

Bu usullarning hammasi uchun umumiy bo`lgan narsa o`sish jarayoni davomida o`sayotgan kristallning eritma turgan konteyner (tigel) devorlari bilan kontaktda bo`lishidir. Bu usullarda kristallanish frontidagi o`ta sovitilish harorat gradiyentli issiqlik maydonini hosil qilayotgan qizdirgichga nisbatan eritmali tigelni siljitib yoki qizdirgichni eritmali tigelga nisbatan harakatlantirib hosil qilinadi.

Normal yo`nalishli kristallash jarayonini maxsus o`stirmasiz (zatravkasiz) amalga oshirish mumkin. Bu usulda kristallanadigan materialning hammasi jarayonning boshida erigan holatda bo`ladi.



13.2-rasm. Normal yo`nalishli kristallanish usuli bilan kristallar o`stirish uchun qo`llaniladigan har xil shaklli tigellarning sxemasi

Sovitilish jarayonida kristallning erish haroratidan past bo`lgan tigelning sohalarida bir nechta kristallanish markazlari hosil bo`ladi. Kristallni faqat bitta kristallanish markazidan o`sish ehtimolini oshirish uchun har xil konstruksiyali maxsus tigellardan foydalaniladi (13.2-rasm). Bunda tigellar issiqlik maydonida vertikal (13.2-rasm, a-d; Brijmen-Stokberger usuli) va gorizontaal (13.2-rasm, e) joylashishi mumkin.

Normal yo`nalishli kristallash jarayonini o`tkazish uchun quyidagi aslahalar kerak bo`ladi: materiali eritmaga va kristallanish

jarayoni o'tkazilayotgan atmosfera gaziga kimyoviy chidamli, berilgan shaklli tigel; kerakli issiqlik maydonini hosil qilib beradigan pech; pechning haroratini boshqaruvchi va tigel yoki qizdirgichni mexanik harakatlantiruvchi tizimlar.

Tigelning materiali eritma bilan ho'llanmasligi kerak, chunki shu holdagina o'stirilgan kristalni tigeldan uni sindirmasdan chiqarib olish, hamda qoldiq deformatsiya va nuqsonlarni minimumga keltirish mumkin. Bundan tashqari tigel kerakli termik va mexanik mustahkamlikka ega bo'lishi kerak. Tigellar tayyorlash uchun ko'pincha kvarsli shisha, alyuminiy oksidi, grafit, platina, berilliy oksidi, magniy oksidi, sirkoniy dioksidi, toriy dioksidi va boshqa materiallardan foydalaniladi.

Agar tigel materialini ho'llaydigan moddalardan kristall o'stirilayotgan bo'lsa, unda juda ham yupqa devorli, masalan platinali konteyner tayyorlanadi. Bunday konteynerlar sovitilganda oson deformatsiyalanadi va o'stirilayotgan kristallarda katta mexanik kuchlanishlar hosil qilmaydi.

Normal yo'nalishli kristallash usuli bilan bir qator yarim-o'tkazgichli va dielektrik materiallarning yirik monokristallari hosil qilinadi. Al_2O_3 korundning kristallari molibdenli tigelda $2037^{\circ}C$ harorat va 10^{-1} Pa bosimli vakuumda 10 mm/soat tezlik bilan o'stiriladi. Hozirgi vaqtda vertikal yo'nalishli kristallash usuli (Brijmen usuli) bilan murtakdan foydalanib diametri 200 mm va uzunligi 300 mm bo'lgan kristallar o'stirilmoqda. Bunday kristallarda dislokatsiyalarning zichligi 10^2 sm^{-2} dan oshmaydi. Gorizontaal yo'nalishli kristallash usuli (asosan X.S.Bagdasarov tomonidan rivojlantirilgan) bilan qalinligi 30 mm va yuzasi $300 \times 300 \text{ mm}^2$ bo'lgan korundning monokristalli plastinalari hosil qilinmoqda. Kristallari normal yo'nalishli kristallash usuli bilan o'stiriladigan ba'zi bir materiallarga misollar quyidagi 13.1 - jadvalda keltirilgan:

13.1-jadval

Kristallning materiali	Erish harorati, $^{\circ}C$	O'stirish tezligi, mm/soat	Tigelning materiali
Al_2O_3	2037	10	Molibden
$V_3Al_5O_{12}$	1975	2	Molibden
$Gd_3Ga_5O_{12}$	1825	2	Iridiy
$FeAl_2O_4$	1790	10	Iridiy
$VFeO_3$	1685	2	Platina
CaF_2	1392	1	Grafit
LiF	870	3	Platina

Ko'rib o'tilgan usulning asosiy kamchiligi o'stirilayotgan kristall bilan tigelning chiziqli kengayish harorat koeffitsientlarining har xilligi natijasida mukammal kristallar olishning qiyinligidir.

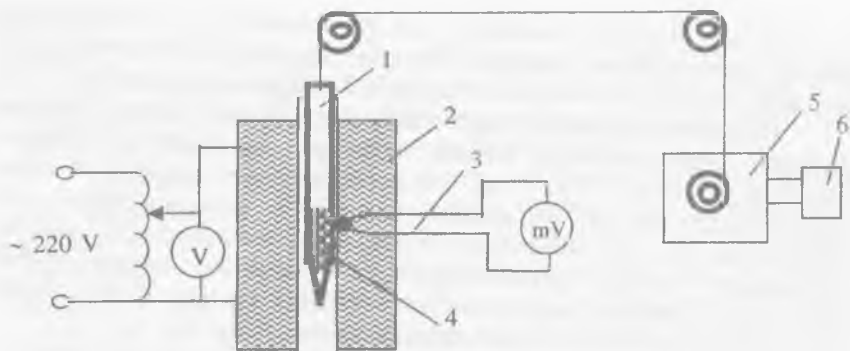
Brijmen-Stokberger usuli bilan metallarning monokristallar o'stirish qurilmasining ishlash prinsipi va tavsifi. Brijmen-Stokberger usuli har xil materiallarning monokristallarini eritmalaridan normal yo'nalishli kristallash usulining bitta turi hisoblanadi. Bunda polikristall bo'lakchalar solingan tigel issiqlik maydonida vertikal joylashtiriladi. Bu usulning monokristallar o'stirishning boshqa usullaridan asosiy farqi maxsus monokristalli o'stirmadan foydalanmasdan monokristallar o'stirishdir.

Brijmen-Stokberger usulida jarayonning boshlanishida kristallanadigan materialning hammasi erigan holatda bo'ladi. Sovitilish jarayonida tigel moddaning erish haroratidan past harorat sohasiga tushib qolganda unda bir nechta kristallanish markazlari – murtaklar hosil bo'ladi. Kristallning faqat bitta murtakdan o'sib monokristallga aylanish ehtimolini oshirish uchun maxsus konstruksiyali tigellardan foydalaniladi. Bunday tigelning eng oddiyi bu uchi konussimon bo'lgan silindrlı tigeldir. Konusning uchi moddaning erish haroratidan kichik haroratli sohaga tushganda uning uchida bitta murtak hosil bo'lish ehtimoli ko'payadi va kristallanish frontining harakati natijasida murtak o'sa boshlaydi hamda hamma eritma monokristallga aylanadi.

Agar bir nechta kristallanish markazlari hosil bo'lgan taqdirda ulardan bittasi shunday oriyentatsiyalangan bo'ladiki, bunda uning o'sish tezligi katta bo'lib, boshqa murtaklarning o'sishini bosib tashlaydi. Brijmen-Stokberger usulida kristallanish frontida o'ta sovitilish, ya'ni kristallash eritmali tigelni harorat gradiyentli issiqlik maydonini hosil qiluvchi qizdirgichga nisbatan siljitib hosil qilinadi.

13.3-rasmda erish harorati kichik bo'lgan moddalarning monokristallarini Brijmen-Stokberger usuli bilan o'stirish qurilmasining sxemasi keltirilgan.

Brijmen-Stokberger usuli bilan monokristallar o'stirish jarayonini o'tkazish qurilmasi quyidagi detallardan tashkil topgan: kristallanish jarayoni o'tkaziladigan gazli atmosferaga va eritmaning kimyoviy ta'siriga chidamli bo'lgan konussimon silindrlı kvarsli tigel; berilgan harorat gradiyentli issiqlik maydonini hosil qiluvchi qizdirgich pech; qizdirgichning haroratini boshqarish tizimi; tigelni mexanik siljituvchi tezlik regulyatorli qurilma.



13.3-rasm. Brijmen-Stokberger usuli bilan monokristallar oʻstirish qurilmasining sxemasi:

1–kvarsli tigel; 2–qizdirgʻich-pech; 3–termopara; 4–modda;
5 – dvigatel; 6- dvigatel tezligining regulyatori

Oson eruvchan metallar monokristallarini Brijmen-Stokberger usuli bilan oʻstirish texnologik jarayonlarining parametrlarini aniqlash. Oson eruvchan metallar (masalan qalay, qoʻrgʻoshin kabilar) monokristallarini Brijmen-Stokberger usuli bilan oʻstirish texnologik jarayonlarining parametrlariga quyidagilar kiradi:

1) qizdirgʻichning oʻrta qismidagi maksimal harorat, bu harorat berilgan metallning erish haroratidan yuqori boʻlishi kerak;

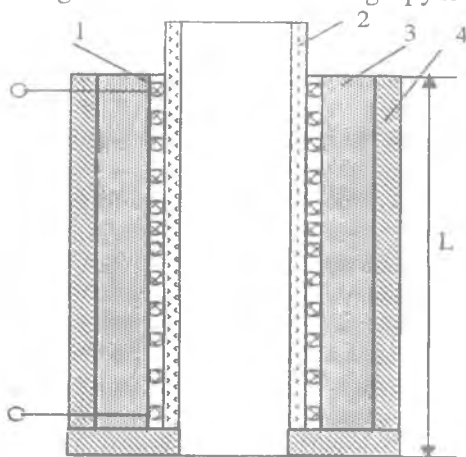
2) qizdirgʻichdagi harorat gradiyenti, bunda qizdirgʻichning yuqori va pastki qismlaridagi harorat erish haroratidan oʻta sovitilish qiymati kattaligiga past boʻlishi kerak, bunda oʻta sovitilish taxminan $\Delta T < 0,2T_{ER}$ ga teng qilib olinadi va qizdirgʻichning oʻrta qismidagi harorat T_{ER} dan kichik boʻlmasligi taʼminlanishi kerak;

3) metallning polikristall qismlari solingan tigelning harorati gradiyentli qizdirgʻich ichidan oʻtish vaqti yoki tigelning tushish tezligi.

Qizdirgichni konstruksiyalashda maksimal harorat va harorat gradiyenti hisobga olinadi. Qizdirgichning maksimal harorati moddaning erish haroratidan kelib chiqib tanlanadi. Kerakli harorat gradiyenti esa qizdirgichdagi kvarsli oʻzakka maʼlum diametrli nixrom simni oʻzgaruvchan zichlikda oʻrab hosil qilinadi. Bunda zichlik oʻzakning oʻrta qismida chekka qismlariga qaraganda yuqoriroq boʻladi. Konstruksiyalangan qizdirgichning koʻndalang kesi-mining koʻrinishi 13.4-rasmda keltirilgan.

Tanlangan metallning erish haroratiga bogʻliq holda qizdirgichga 30÷50 V oʻzgaruvchan kuchlanish beriladi. Har bir

o'zgaruvchan kuchlanishning qiymati uchun qizdirgichdagi harorat



13.4-rasm. Konstruksiyalangan qizdirgichning ko'ndalang kesimning ko'rinishi:

1-nixromli sim; 2- kvarslı o'zak;
3-asbestli to'ldirgich; 4-temir kornus

murtakdan kristall o'sishi boshlanib monokristall modda hosil bo'lsin.

taqsimoti 13.2-jadval yordamida aniqlanadi va aniqlangan ma'lumotlari hisobiga qizdirgichdagi harorat gradiyenti, ya'ni $T=f(L)$ bog'lanish quriladi.

Tigelning qizdirgich orqali o'tish vaqti, ya'ni tigelning tushishi tezligi shunday tanlanadiki, bunda tigel qizdirgichning o'rta qismidan o'tish davomida modda butunlay erib ulgirishi kerak va tigelning konussimon uchi qizdirgichning $T_{ER}-\Delta T$ sohasiga yaqinlashganda unda bitta kristallanish markazi-murtak hosil bo'lishi kerak va shu jarayonning oxirida bitta

13.2-jadval

$U_1=30$ V	L, sm	0	3	6	9	12	15	17	19	21	24	27	30	32
	$T, ^\circ C$													
$U_2=35$ V	L, sm	0	3	6	9	12	15	17	19	21	24	27	30	32
	$T, ^\circ C$													
$U_3=40$ V	L, sm	0	3	6	9	12	15	17	19	21	24	27	30	32
	$T, ^\circ C$													

Bu tezlikni tajriba yo'li bilan topish uchun 13.3-jadval to'ldiriladi. Tigelning tushishi tezligi elektrodvigateldagi reduktor orqali yoki dvigatelga berilayotgan kuchlanishni o'zgartirib boshqariladi. Olingan natijalar 13.3-jadvalga yoziladi.

13.3-jadval

U, V	36	37	38	39	40	41	42
t, s							
$v=L/t,$ sm/s							

Tajribani o'tkazish tartibi

13.3-rasmda keltirilgan qurilma yordamida oson eruvchan metallarning monokristallarini o'stirish uchun quyidagi tartibda operatsiyalar o'tkaziladi:

1. Qizdirgich yoqiladi va kerakli harorat rejimiga chiqqungacha kutiladi;

2. Kvarsli tigelga oson eruvchan metallarning qirqimlari solinadi (qalay, qo'rg'oshin kabilar);

3. Tigelni qizdirgich ichida harakatga keltiruvchi dvigatelning eng sekin aylanish tezligini ta'minlaydigan kuchlanish beriladi. Bunda tigel qizdirgichning ichiga tushib borgan sari undagi moddaning eritmasi hosil bo'ladi va konussimon uch moddaning erish haroratidan kichik sohaga tushganida kristallanish markazi hosil bo'ladi. Tigelning tushishi davomida eritmaning qotishi ana shu murtakdan boshlanadi va eritma monokristallga aylanadi;

4. Qizdirgich va elektrodvigelat o'chiriladi;

5. Kvarsli tigeldan monokristall chiqarib olinadi.

6. Qizdirgichdagi harorat gradiyenti 13.2-jadval asosida quriladi.

7. Tigelning tushish tezligining optimal qiymati 13.3-jadval asosida topiladi.

Sinov savollari

1. Suyuq fazadan monokristallar o'stirishning qanday usullarini bilasiz?

2. Normal yo'nalishli kristallash usulining turlarini aytib bering.

3. Brijmen-Stokberger usuli bilan monokristallar qanday o'stiriladi?

4. Brijmen-Stokberger usulida qizdirgichga qanday talablar qo'yiladi?

5. Brijmen-Stokberger usuli bilan monokristallar o'stirish qurilmasi qanday qismlardan tashkil topgan?

6. Brijmen-Stokberger usulida tigellarga qanday talab qo'yiladi?

7. Brijmen-Stokberger usulining boshqa usullarga qaraganda ustunliklari va kamchiliklarini aytib bering.

Adabiyotlar

1. Таиров Ю.М., Цветков В.Ф. Технология полупроводниковых и диэлектрических материалов. - М.: Высшая школа, 1990.
2. Черняев В.М. Физико-химические процессы в технологии РЭА. - М.: Высшая школа, 1987.
3. Нормуродов М.Т., Умирзаков Б.Е., Парманкулов И.П. Электрон техника материаллари ва қурилмалари технологияси. Дарслик. - Тошкент, Мехнат, 2004.
4. Барыбин А. А. , Сидоров В. Г. Физико-технологические основы электроники. – С.-Пб.: Лань, 2001.
5. Нашельский А.Я. Технология полупроводниковых материалов. - М.: Металлургия, 1987.
6. Интернет сайтлари:
www.isser.rssi.ru
<http://rtd.ru>
<http://ics.org.ru>
<http://www.thestreet.com/>
<http://quantum.u-aizuac.jp/iwtndoc/>
[www. Ziyo.net](http://www.Ziyo.net)

Mundarija

Kirish	3
1- tajriba ishi. Kremniy epitaksial qatlamlarining hosil bo'lish jarayonini tekshirish.	4
2- tajriba ishi. Kremniy epitaksial qatlamlarining parametrlarini tekshirish	11
3- tajriba ishi. Termovakuumli bug'lantirish yordamida qattiq jismlar yuzasida metallar yupqa qatlamlarining hosil bo'lish jarayonini o'rganish	15
4- tajriba ishi. Termovakuumli bug'lantirish yordamida qattiq jismlar yuzasida hosil qilingan metallar yupqa qatlamlarining xossalarini tekshirish.	20
5- tajriba ishi. HNO_3 – NF tizimida kremniyni kimyoviy – dinamik jilolash jarayonini tekshirish.	23
6- tajriba ishi. Yarimo'tkazgichli plyonkalar morfologiyasini replikatsion elektron mikroskop usullari bilan o'rganish.	26
7- tajriba ishi. Qattiq jism sirtini kichik energiyali ionlar bilan implantatsiya qilish yordamida yupqa plyonkalar olish.	33
8 - tajriba ishi. Kremniy oksidi yupqa qatlamli materiallarini hosil qilish texnologiyasini o'rganish.	39
9- tajriba ishi. Materiallar va mahsulotlar sirtlarining g'adir-budurligini o'lchash, nazorat va qayd qilish usullari va apparaturalarini o'rganish.	42
10- tajriba ishi. SHEHMda qayta ishlov beruvchi optoelektron tizimli mikroprosessor asosida sirtlar g'adir-budurliklarining xarakteristikalarini tekshirish.	48
11- tajriba ishi. Elektron-nurli erituvchi qurilmaning tuzilishi va ishlash prinsipi bilan tanishish.	54
12- tajriba ishi. Molibden kristallarini tigelsiz zonali eritish usuli orqali hosil qilish jarayonlari bilan tanishish	64
13- tajriba ishi. Oson eruvchan metallarning monokristallarini Brijmen-Stokberger usuli bilan o'stirishning texnologik jarayonini o'rganish	72
Adabiyotlar.	79

Muharrir M.M. Botirbekova